This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

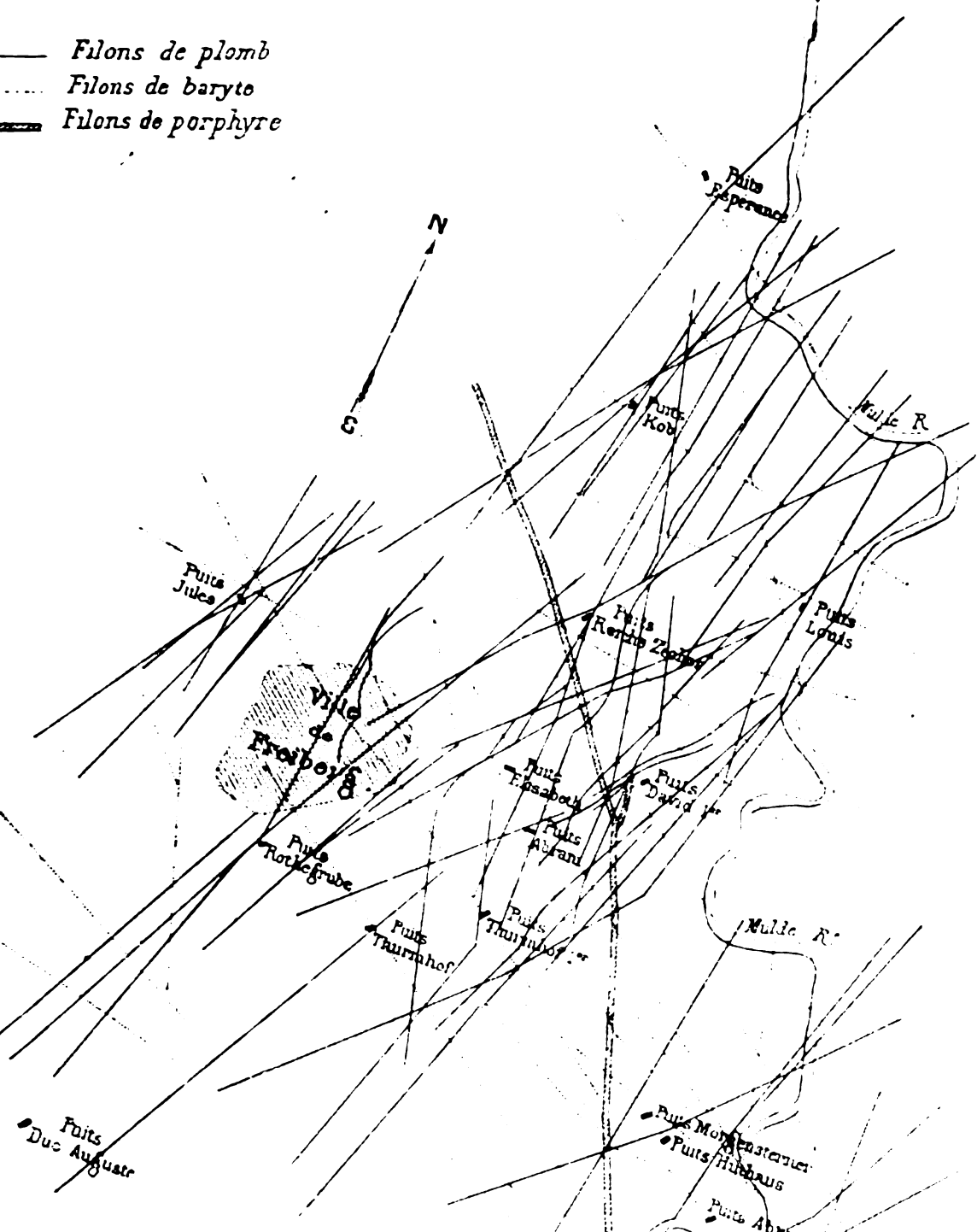
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`



Cours d'exploitation des mines

Julien Napoléon Haton de la Goupillière, Maxime Pellé

Digitized by Google

Digitized by Google

HARVARD UNIVERSITY LIBRARY.

This book is deposited temporarily in the
Library of the
Department of Mining & Metallurgy.
March 7, 1901.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

COURS

D'EXPLOITATION

DES MINES

Digitized by Google

32567 — PARIS, IMPRIMERIE A. LAHURE
9, Rue de Fleurus, 9.

Digitized by Google

COURS
D'EXPLOITATION
DES MINES

PAR

HATON DE LA GOUPILLIÈRE

Inspecteur général des mines
Membre de l'Institut
Directeur de l'École nationale supérieure des mines
Président de la Commission du grisou
Commandeur de la Légion d'Honneur

SECONDE ÉDITION

REVUE ET CONSIDÉRABLEMENT AUGMENTÉE
AVEC LA COLLABORATION DE

MAXIME PELLÉ

Ingénieur au Corps des mines

TOME PREMIER

PARIS
Vve Ch. DUNOD ET P. VICQ, ÉDITEURS
LIBRAIRES DES CORPS DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES
49, QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 49

1896

Droits de traduction et de reproduction réservés.

Digitized by Google

GRAY & B
STIRREWING
MACHINE

~~20,181~~
Eng 1308.96

HARVARD COLLEGE
JUL 9 1900
LIBRARY.

Minot fund
(1-2)

HARVARD COLLEGE
1939
LIBRARY

Mining Library

Digitized by Google

AVERTISSEMENT

DE LA SECONDE ÉDITION

Je n'ai cessé, depuis la publication de cet ouvrage, de rassembler les notes nécessaires à la revision attentive d'une seconde édition. Mais, dans l'intervalle, les fonctions publiques dont je suis chargé se sont beaucoup développées, et elles ne me laissaient plus la possibilité d'accomplir seul une telle élaboration. J'ai donc réclamé pour ce travail le très utile concours d'un de mes jeunes camarades du Corps des Mines, M. Maxime Pellé. Je tiens à témoigner ici du grand talent et du zèle dévoué avec lesquels il a bien voulu me venir en aide, tant pour la correction des épreuves que pour la revision des détails, ainsi que pour la refonte de plusieurs sujets dont il s'est plus spécialement occupé dans ce premier volume, tels que l'emploi des nouveaux explosifs et la perforation mécanique, le procédé de fonçage par congélation, la circulation aérienne et les applications de l'électricité.

H. G.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE — RECHERCHES DE MINES

CHAPITRE I. — Découverte des gîtes minéraux.

Pages.

§ 1. — *Introduction* 1

§ 2. — *Indications géologiques* 3

Emplacement des gîtes 3

Prolongement des gîtes 9

Parallélisme des gîtes 10

§ 3. — *Indications locales* 13

Indications archéologiques 13

Indications minéralogiques 14

Indications magnétiques 15

§ 4. — *Travaux de recherches* 18

Travaux sur l'affleurement 18

Travaux souterrains à flanc de coteau 20

Travaux en profondeur 21

§ 5. — *Appréciation du gîte* 24

Appréciation matérielle 24

Appréciation économique 26

CHAPITRE II. — Recherche des parties riches des filons.

§ 1. — *Mode de production des filons* 30

Systèmes de fractures 30

Minéralisation 35

Digitized by Google

§ 2. — *Influence des roches encaissantes*. 36
Influences chimiques. 36
Influences physiques. 41
§ 3. — *Influence de l'orientation des filons* 42
Influence de l'inclinaison. 42
Influence de la direction. 44
§ 4. — *Influence de l'orientation de la stratification*. 49
Colonnes de richesse. 49
Recherches en dehors du filon. 51

CHAPITRE III. — PASSAGE DES REJETS.

§ 1. — *Indices locaux*. 54
Accidents. 54
Rebroussement des feuillets. 56
Ordre de stratification. 57
§ 2. — *Règle de Schmidt*. 59
Règle de Schmidt. 59
Règle de l'angle obtus. 61
Faux rejets. 62
§ 3. — *Méthode graphique*. 65
§ 4. — *Méthode trigonométrique*. 70

CHAPITRE IV. — PROCÉDÉ DU SONDAGE.

§ 1. — *Généralités*. 73
§ 2. — *Engin extérieur*. 75
Chevalement. 75
Sortie et rentrée de la sonde. 77
Attaque et curage. 78
Force motrice. 80
§ 3. — *Tige de sonde*. 82
Tête de sonde. 82
Rallonges. 83
Guides et parachutes. 85
§ 4. — *Joint à chute libre*. 86
Objet du joint à chute libre. 86
Coulisse d'Œynhausen. 88
Joint Lippmann. 91
Joint Dru. 94
§ 5. — *Outils d'attaque et de curage*. 94
Attaque. 94
Curage. 98

Digitized by Google

§ 6. — *Tubage*. 98
Colonnes de tubes. 98
Enfoncement d'une colonne. 100
Réenfoncement d'une colonne. 103
Arrachage d'une colonne. 105
§ 7. — *Accidents*. 106
§ 8. — *Sondage au diamant*. 110
§ 9. — *Sondage à la corde*. 114
§ 10. — *Résultats économiques*. 116
Vitesse. 116
Prix de revient. 117

CHAPITRE V. — APPLICATIONS DU SONDAGE.

§ 1. — *Recherche des gîtes minéraux*. 119
§ 2. — *Travaux des mines*. 123
§ 3. — *Exploitation du pétrole, du gaz, du sel* 125
Pétrole. 125
Gaz naturel. 132
Exploitation du sel par sondage. 133
§ 4. — *Puits artésiens*. 136
Puits jaillissants. 136
Puits absorbants. 146

DEUXIÈME PARTIE — ABATAGE

CHAPITRE VI. — ABATAGE A LA MAIN, A L'EAU, AU FEU.

§ 1. — *Travail à la main*. 149
Instruments de chargement. 149
Instruments du terrassier 151
Instruments du piqueur 153
§ 2. — *Travail à l'eau*. 160
Action statique. 160
Action dynamique. 162
Action physique. 163

Digitized by Google

Action organique 164
Action chimique. 164

§ 3. — *Travail au feu*. 167

CHAPITRE VII. — Abatage par les explosifs.

§ 1. — *Détermination des trous de mine*. 172
Emplacement du trou de mine 172
Dimensions du trou de mine 175

§ 2. — *Forage*. 177
Tarière 177
Barre à mine. 180
Fleuret et massette 182
Curette.. 185

§ 3. — *Chargement*. 186
Procédé ordinaire. 186
Tirage au tasseau. 189

§ 4. — *Bourrage* 192
Instruments 192
Bourre. 193
Bourrage. 195

§ 5. — *Mise du feu* 197
Ancienne méthode. 197
Mèche de sûreté. 199
Emploi de la mèche de sûreté dans les milieux grisouteux 202
Amorce de friction 206
Tir électrique. 207
Cordeau détonant. 217
Précautions à prendre dans l'allumage des coups de mine. 218
Tir par volées. 220
Raté, long-feu, débourrage. 221

§ 6. — *Composition des explosifs* 224
Propriétés des explosifs. 224
Poudres nitratées. 229
Poudres chloratées et picratées. 231
Nitrocelluloses. 231
Nitroglycérine et ses dérivés.. 232
Explosifs divers. 237
Explosifs destinés aux mines grisouteuses. 238

§ 7. — *Résultats économiques*. 247

Digitized by Google

CHAPITRE VIII. — ABATAGE MÉCANIQUE.

§ 1. — *Généralités*. 250
§ 2. — *Perforateurs mécaniques*. 252
Perforatrices rotatives. 252
Perforatrices percutantes. 254
Mouvement de percussion. 256
Mouvement de rotation. 265
Mouvement d'avancement. 266
Affût. 270
§ 3. — *Haveuses mécaniques* 272
§ 4. — *Machines à tunnels*. 278
§ 5. — *Résultats économiques*. 282

TROISIÈME PARTIE — PUITS ET GALERIES

CHAPITRE IX. — BOISAGE.

§ 1. — *Généralités sur le soutènement*. 289
Puits et galeries. 289
Soutènement. 293
§ 2. — *Généralités sur le boisage* 295
Essences. 295
Conservation des bois 297
Données économiques 299
Emploi des bois. 302
§ 3. — *Boisage des galeries*. 307
Cadre complet 307
Cadres simplifiés 308
Cadres complexes. 310
Voûtes en bois 312
§ 4. — *Boisage des puits*. 314
§ 5. — *Boisage des tailles et des points singuliers* 319
Boisage des tailles. 319
Boisage des points singuliers. 321

Digitized by Google

CHAPITRE X. — Muraillement et blindage.

§ 1. — *Généralités sur le muraillement* 324
§ 2. — *Muraillement des galeries, des puits, des points singuliers* . . 328
Muraillement des galeries 328
Muraillement des puits 330
Muraillement des points singuliers 334
§ 3. — *Blindage* 336
Généralités sur le blindage 336
Blindage des galeries 337
Blindage des puits 340
Blindage des tailles et des points singuliers 345

CHAPITRE XI. — Percement des galeries de mine.

§ 1. — *Généralités sur les galeries* 347
Nomenclature des galeries 347
Orientation du percement 349
§ 2. — *Boisage au poussage* 351
Poussage simple 351
Poussage au bouclier 354
Picotage 356
§ 3. — *Muraillement avec poussage* 357
Poussage et muraillement successifs 357
Poussage et muraillement simultanés 358

CHAPITRE XII. — Percement des tunnels.

§ 1. — *Généralités sur les tunnels* 360
Dimensions des tunnels 360
Puits d'accès 363
§ 2. — *Terrains solides* 365
Méthode de la section entière 365
Méthode montante 366
Méthode descendante 368
Méthode mixte 369
§ 3. — *Terrains inconsistants* 370
Méthode anglaise 370
Méthode autrichienne 372
Méthode de Rziha 374

Digitized by Google

§ 4. — *Terrains coulants*. 376
Méthode de Brunel. 376

CHAPITRE XIII. — FONÇAGE DES PUITS A NIVEAU BAS.

§ 1. — *Généralités sur les puits*. 380
Dimensions des puits. 380
Aménagement des puits 383
§ 2. — *Fonçage des puits boisés*. 386
Terrains non aquifères. 386
Terrains aquifères. 387
§ 3. — *Fonçage des puits muraillés* 394
Coordination des retraites 394
Exécution d'une retraite. 395
§ 4. — *Agrandissement d'un puits*. 397
Élargissement d'un puits. 397
Réavalement d'un puits 398
Fonçage sous stot. 399

CHAPITRE XIV. — FONÇAGE DES PUITS A NIVEAU PLEIN.

§ 1. — *Procédé de la trousse coupante*. 406
Principe du fonçage à niveau plein 406
Procédé de la trousse coupante. 407
§ 2. — *Procédé Triger*. 410
Appareil. 410
Effets physiologiques. 414
Percement des tunnels à l'air comprimé. 416
§ 3. — *Procédé Guibal*. 418
§ 4. — *Procédé Chaudron*. 420
Tube d'équilibre. 420
Boîte à mousse. 423
Bétonnage. 424
Variantes. 425
Données économiques. 427
§ 5. — *Procédé Pœtsch*. 429
Installation des tubes. 430
Congélation. 435
Fonçage. 438
Données économiques. 439
Percement des tunnels par la congélation. 440

Digitized by Google

QUATRIÈME PARTIE — MÉTHODES D'EXPLOITATION

CHAPITRE XV. — Aménagement général.

§ 1. — *Détermination des puits* 443
Généralités 443
Nombre des points d'accès 448
Emplacement des puits 451
§ 2. — *Division en étages* 453
Détermination des étages 453
Ordre d'exploitation des étages 456
§ 3. — *Division en tranches et en lopins* 458
§ 4. — *Généralités sur les méthodes d'exploitation* 460
Qualités du gîte 460
Qualités de la méthode 463
Les trois principes fondamentaux 465

CHAPITRE XVI. — Abandon de massifs.

§ 1. — *Méthodes des piliers, des cloisons, des estaus* 467
Généralités 467
Méthode des piliers tournés 469
Méthode des piliers longs 472
Méthode des cloisons 472
Méthode des estaus 473
§ 2. — *Calcul du rendement* 475
Méthode des piliers 475
Méthode des cloisons 476
Méthode des estaus 477
§ 3. — *Exemples* 479
Ardoisières de Trélazé 479
Ardoisières de Rimogne 483
Houillères sous-marines de Whitehaven 483
Wicket-system 485
Houillères du Staffordshire 485
Mines d'anthracite de Pennsylvanie 487
Mine de sel gemme de Wieliczka 489
Mine de sel potassique de Stassfurth 490

Digitized by Google

Mine de sel gemme de Marmaros 492
Mine de sel gemme de Hallstadt. 494
Mine d'étain d'Altenberg. 498

CHAPITRE XVII. — GÉNÉRALITÉS SUR LE FOUDROYAGE.

§ 1. — *Description du foudroyage*. 500
Foudroyage d'un toit neuf 500
Foudroyage d'anciens éboulis. 503
§ 2. — *Effets du foudroyage en hauteur*.. 504
§ 3. — *Avantages et inconvénients du foudroyage*.. 507
§ 4. — *Direction à donner au foudroyage*. 508
Direction du foudroyage 508
Méthodes de foudroyage 511
§ 5. — *Chambres d'éboulement*.. 512

CHAPITRE XVIII. — MÉTHODES DE FOUDROYAGE.

§ 1. — *Méthode des massifs courts*. 515
Traçage en direction et inclinaison.. 515
Traçage en demi-pente.. 518
§ 2. — *Méthode des massifs longs* 521
Traçage 521
Dépilage en long 522
Dépilage en travers direct.. 525
Dépilage direct et rétrograde. 527
§ 3. — *Méthode du longwall*.. 530
Longwall working outwards.. 530
Longwall working home. 532
§ 4. — *Méthode inclinée*. 533
Propriétés de la méthode. 533
Aménagement.. 535
§ 5. — *Méthode horizontale*. 537
Propriétés de la méthode. 537
Aménagement.. 538

CHAPITRE XIX. — GÉNÉRALITÉS SUR LE REMBLAYAGE.

§ 1. — *Nature du remblai*.. 540
Nature minéralogique du remblai. 540
Sources de remblai 542

Digitized by Google

§ 2. — *Mode d'emploi du remblai* 544
Introduction du remblai 544
Cheminée 547
Mise en place du remblai 549
§ 3. — *Avantages du remblai* 550
Enlèvement complet 550
Montée sur le remblai, passage sous le remblai 551
§ 4. — *Inconvénients du remblai* 553
Tassement 553
Fracture du terrain 554
Investison 556
Échauffement par affaissement 561
Dépense du remblayage 564
§ 5. — *Méthodes de remblayage* 565

CHAPITRE XX. — MÉTHODES DE REMBLAYAGE. — GÎTES MINCES.

§ 1. — *Méthode des chambres* 568
Constitution du chantier élémentaire 568
Mode direct 573
Mode rétrograde 576
Dépilage par piliers repris 577
§ 2. — *Méthode des grandes tailles* 578
Base d'opérations 578
Grandes tailles montantes 580
Grandes tailles diagonales 581
Grandes tailles chassantes 582
Maintenages 586
§ 3. — *Discussion des variantes de la méthode des grandes tailles* . 590
Caractères communs 590
Avantages de la méthode montante sur la méthode chassante 591
Avantages de la méthode chassante sur la méthode montante 592
§ 4. — *Méthode des gradins* 593
Gradins renversés 593
Gradins droits 598
§ 5. — *Discussion des variantes de la méthode des gradins* 600
Caractères communs 600
Avantages des gradins droits sur les gradins renversés 600
Avantages des gradins renversés sur les gradins droits 601

Digitized by Google

CHAPITRE XXI. — MÉTHODES DE REMBLAYAGE. — GÎTES PUISSANTS.

§ 1. — *Méthode inclinée* 603
Avantages et inconvénients 603
Marche en direction 604
Enlèvement d'une tranche 605
Méthode de Beaubrun 606
§ 2. — *Méthode horizontale. — Mode en travers* 607
Méthode simple 607
Méthode complexe 611
Méthode des amas 614
§ 3. — *Méthode horizontale. — Mode en long* 616
Traversée mince 617
Traversée moyenne 618
Traversée puissante 619
§ 4. — *Méthode verticale* 620
Généralités 620
Méthode de Firmy 621
Méthode d'Almaden 623
§ 5. — *Méthode de rabatage* 626
Généralités 626
Rabatage en travers 627
Rabatage en long 632

CHAPITRE XXII. — COMPARAISON DES MÉTHODES.

§ 1. — *Filons et amas* 639
Filons 639
Amas 642
§ 2. — *Couches. — Choix du principe fondamental* 642
Abandon de massifs 642
Foudroyage 643
Remblayage 644
§ 3. — *Couches. — Choix de la méthode d'exploitation* 647
Foudroyage 647
Remblayage 648
§ 4. — *Données numériques* 649
§ 5. — *Rendement du piqueur* 655

Digitized by Google

§ 6. — *Production totale annuelle*. 656
Production de la France. 656
Production du monde entier 659
Prix de revient. 664

CHAPITRE XXIII. — EXPLOITATION A CIEL OUVERT.

§ 1. — *Principes généraux*. 667
Avantages et inconvénients. 667
Talus. 670
Types généraux d'exploitation. 674
§ 2. — *Exemples*. 677
Carrières de meulière 678
Ardoisières de Trélazé. 679
Ardoisières de Penrhyn et Llambéris. 680
Ardoisières de Festiniog 680
Carrières de talc de Luzenac 682
Phosphates de l'Auxois. 682
Mines de sel gemme de Salif 684
Mines de fer de Somorostro. 685
Mines de fer de Mokta-el-Hadid 688
Mines de pyrite de Rio-Tinto 691
Mines d'étain de Pérak. 694
Placers d'or de la Californie. 695
Mines de diamant de Kimberley. 697
Exploitations d'ambre du Samland. 700
Exploitations de guano du Pérou. 701
Houillères de la Vaysse. 702
Mines de lignite de Trifail 704
Mines de lignite de Dux 704
Tourbières. 706
Exemples divers. 709

Digitized by Google

CINQUIÈME PARTIE — ROULAGE

CHAPITRE XXIV. — Moyens divers de transport.

§ 1. — *Transport à ciel ouvert* 711
Brouette. 711
Tombereau. 715
Wagon. 716
§ 2. — *Portage à dos*. 717
§ 3. — *Traînage* 720
§ 4. — *Brouettage souterrain*. 721
§ 5. — *Chien de mine*. 722
§ 6. — *Navigation souterraine*. 724

CHAPITRE XXV. — Chemin de fer de mine.

§ 1. — *Voie normale*. 727
§ 2. — *Bifurcations*. 735
§ 3. — *Pentes*. 738
Équations fondamentales. 738
Discussion des équations. 746
Résultats numériques. 750
§ 4. — *Courbes* 753
Inclinaison transversale de la voie. 753
Conicité des jantes.. 755
Parallélisme des essieux. 757
Glissement. 759

CHAPITRE XXVI. — Matériel roulant.

§ 1. — *Indépendance des roues*.. 763
§ 2. — *Roues*. 766
§ 3. — *Ensemble du véhicule* 768
§ 4. — *Locomotives souterraines*. 776

Digitized by Google

CHAPITRE XXVII. — Plan incliné automoteur.

§ 1. — *Ensemble du mécanisme* 783
Classification des plans inclinés 783
Plan à simple effet 786
Plan à double effet 787
§ 2. — *Détails du mécanisme* 788
Câble 788
Poulie 791
Frein 793
Régulateur 795
Rouleaux 797
Chariot-porteur 798
Attelage 800
Parachute 801
Manœuvres 802
Données numériques 807
§ 3. — *Plan bisautomoteur* 809

CHAPITRE XXVIII. — Traction mécanique.

§ 1. — *Généralités* 813
Traction en palier 813
Exploitation en vallée 814
§ 2. — *Système corde-tête et corde-queue* 817
Câble-tête et câble-queue 817
Recette d'arrivée 818
Recette de départ 819
Embranchements 819
Courbes 821
Variantes 821
§ 3. — *Corde sans fin* 822
§ 4. — *Chaîne traînante* 824
§ 5. — *Chaîne flottante* 825
Chaînes et poulies 825
Voie 827
Embranchements 828
Moteur 830
§ 6. — *Comparaison des divers systèmes* 832

Digitized by Google

§ 7. — *Régularisation de la traction*. 835
Généralités. 835
Rampe d'équilibre. 838

CHAPITRE XXIX. — Circulation aérienne.

§ 1. — *Généralités* 845
§ 2. — *Câble-noria*. 846
§ 3. — *Chaîne flottante aérienne*. 852
§ 4. — *Plan incliné aérien*. 858
§ 5. — *Câble aérien à voie unique*. 865
§ 6. — *Telphérage*. 868
§ 7. — *Billon des ardoisières*. 869
§ 8. — *Monorail*. 872

CHAPITRE XXX. — La force motrice dans les mines.

§ 1. — *Moteurs animés*. 874
Force de l'homme. 874
Force du cheval. 876
§ 2. — *Moteurs hydrauliques*. 878
Force hydraulique. 878
Moteurs. 879
Force du vent. 881
§ 3. — *Moteurs à vapeur*. 882
§ 4. — *Transmissions*. 885
Barres de renvoi 885
Câbles. 885
Eau sous pression. 887
Air comprimé. 890
Électricité. 895

Digitized by Google

ABRÉVIATIONS

Les publications qui se trouvent citées le plus fréquemment dans cet ouvrage ont été désignées par les abréviations suivantes :

Annales, 2e, IV, 27. . . . . = *Annales des Mines*, seconde série, tome IV, page 27.

Bull. min., 2e, IV, 27. . . . = *Bulletin de la Société de l'industrie minérale* de Saint-Étienne, seconde série, tome IV, page 27.

CRM, 1889, 27 . . . . . = *Comptes rendus mensuels des réunions de la Société de l'industrie minérale* de Saint-Étienne, année 1889, page 27.

Rev. univ. d. m., 2e, IV, 27. = *Revue universelle des mines, de la métallurgie, etc.*, de Liége, seconde série, tome IV, page 27.

Bull. Soc. d'enc., 2e, IV, 27. = *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, seconde série, tome IV, page 27.

Comptes rendus, IV, 27. . . = *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, tome IV, page 27.

Lum. élect., IV, 27. . . . . = *La Lumière électrique*, tome IV, page 27.

Zeitschrift BHS, IV, 27. . . = *Zeitschrift für das Berg, Hütten und Salinenwesen im Preussischen Staate*, tome IV, page 27.

Œsterr. Zeit., IV, 27. . . . = *Œsterreichische Zeitschrift für Berg und Hüttenwesen*, tome IV, page 27.

Transact. NEI, IV, 27. . . = *Transactions of the North of England Institute of mining and mechanical Engineers*, tome IV, page 27.

Transact. américi. min., IV, 27. = *Transactions of the american Institute of mining Engineers*, tome IV, page 27.

PA, Angl., 27. — *PA*, Allem., 27. — *PA*, Belg., 27. = Pernolet et Aguillon, *Rapport de mission fait à la Commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou dans les houillères*, Angleterre, *ou* Allemagne, *ou* Belgique, page 27.

Pièces annexées, etc., 2e *fasc.*, p. 27. = Pièces annexées aux procès-verbaux des séances de la Commission chargée de l'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou dans les houillères, second fascicule, page 27.

Digitized by Google

COURS
D'EXPLOITATION
DES MINES

PREMIÈRE PARTIE
RECHERCHES DE MINES

CHAPITRE I
DÉCOUVERTE DES GÎTES MINÉRAUX

§ 1

INTRODUCTION

1 — Peu de problèmes sont à la fois plus vastes et mieux liés dans toutes leurs parties que celui de l'exploitation souterraine (1).

(1) Calbe, *Bergbuchlein*, Augsbourg, 1505 (article de M. von Decken : Das älteste deutsche Bergwerksbuch, *Zeitschrift für Bergrecht*, XXVI. — Article de M. Daubrée, *Journal des savants*, juin 1890, 379). — Agricola, *De re metallica libri XII*, Bâle, 1530. — Lohneyss, *Bericht vom Bergwerk*, 1617. — Hertwig, *Neues und vollkommenes Bergbuch*, 1734. — Morand, *L'art d'exploiter les mines de charbon de terre*, 1768. — Monnet, *Traité de l'exploitation des mines*, 1773, manuscrit traduit de l'allemand. — Delius, *Traité sur la science de l'exploitation des mines*, traduction de Schreiber, 1778. — Jugel, *Die vollkommene Bergwerkskunst*, 1785. — Lempe, *Magazin für die Bergbaukunde*, 1785. — Héron de Villefosse, *De la richesse minérale*, etc., 1810. — Schitko, *Beiträge zur Bergbaukunde*, 1833. — Ezquerra del Bayo, *Elementos de la-*

Digitized by Google

Le but que se propose le mineur consiste à pénétrer dans l'intérieur de la terre, pour en détacher les matières utiles et les rapporter à la surface. On y peut distinguer d'après cela deux ordres principaux de questions : les unes concernant l'attaque de la masse terrestre, et les autres les transports de toute nature à effectuer dans son sein.

La description des moyens d'attaque comprend trois points de vue successifs. Tout d'abord l'*abatage*, c'est-à-dire les ressources dont dispose l'ouvrier pour effectuer le dépècement du massif limité qui lui est proposé comme objet de ses efforts. En second lieu, la réunion de ces opérations partielles pour doter la mine de ses *organes* essentiels : puits, galeries, plans inclinés, etc., dans des conditions de durée suffisantes. Enfin, la coordination de l'ensemble des travaux en vue de réaliser l'enlèvement le plus complet et le plus économique, le plus sûr et le plus rapide, de la masse minérale; c'est la *méthode d'exploitation*

En ce qui concerne les transports, il y a lieu d'envisager séparément les matières solides, liquides ou gazeuses. Ces dernières donnent lieu au problème de l'*aérage*, et les secondes à celui de l'*épuisement*. Quant aux matériaux solides, tant ceux que l'on extrait de l'intérieur que ceux que l'on se trouve conduit à introduire du dehors, comme ils ne présentent plus la fluidité et la

boreo de minas, 1839. — Combes, *Traité de l'exploitation des mines*, 1844. — Bartlett, *A treatise on british mining*, 1850. — Ponson, *Traité de l'exploitation des mines de houille*, 1852, avec suppléments postérieurs. — John Hedley, *Traité pratique de l'exploitation des mines de houille*, traduit par Lanlesh et Madessé, 1853. — Amédée Burat, *Le matériel des houillères*, etc., 1861. — Amédée Burat, *Cours d'exploitation des mines*, 1871, avec suppléments postérieurs. — Warington Smith, *La houille et l'exploitation des houillères*, traduit par Maurice, 1872. — Callon, *Cours d'exploitation des mines*, 1874. — Demanet, *Cours d'exploitation des mines de houille*, 1878. — Serlo, *Leitfaden zur Bergbaukunde*, 1878. — Gurlt, *Bergbau und Hüttenkunde*, 1879. — Alfred Évrard, *Traité pratique de l'exploitation des mines*, 1882 et 1888. — Zoppetti, *L'art des mines*, Milan, 1882. — Magnus Ihlseng, *Manual of mining*, New-York. — Haton de la Goupillière, *Cours d'exploitation des mines*, première édition, 1883. — Gillman, *Elementos de mineria o laboreo de minas*, 1883. — Hasslacher, *Geschichtliche Entwickelung des Steinkohlenbergbaues im Saargebiete*, 1884. — Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 1884. — Wurgler, *Cours d'exploitation des mines*, 1886. — Cambessédès, *Cours théorique et pratique d'exploitation des mines*, 1887. — Garreau, *Cours élémentaire d'exploitation des mines*, 1893. — Dorion, *Exploitation des mines*, 1894. — Badourcau et Grangier, *Les mines, les minières et les carrières*. — Pernolet, *Agenda Dunod*. — Chalon, *Aide-mémoire du mineur*, Baudry, 1895

Digitized by Google

docilité des précédents. leur transport se trouve placé dans des conditions distinctes, selon qu'il s'effectue suivant la verticale, ce qui constitue l'*extraction*, ou qu'il présente une composante horizontale : c'est alors le *roulage*.

Un dernier ordre d'idées, sous le titre de *préparation mécanique des minerais*, a pour but de suivre les matières au delà de l'instant où elles ont été amenées au jour, en vue de les livrer au métallurgiste dans un état mieux approprié à ses opérations. Ajoutons que toute cette description de l'exploitation des mines sera précédée d'une sorte d'introduction concernant la *recherche des gîtes*.

D'après cela, l'ensemble de ce Cours se divisera en neuf parties distinctes qui prendront les titres suivants :

I — Recherches de mines.
II — Abatage.
III — Puits et galeries.
IV — Méthodes d'exploitation.
V — Roulage.
VI — Extraction.
VII — Épuisement.
VIII — Aérage.
IX — Préparation mécanique des minerais.

§ 2

INDICATIONS GÉOLOGIQUES.

2 — *Emplacement des gîtes.* — Il y a lieu, dans la recherche[1] des gîtes minéraux, de distinguer deux circonstances fondamentales, suivant que la masse affleure au jour, ou qu'elle est entièrement dissimulée sous des morts-terrains. Dans ce dernier cas, il n'existe qu'une seule manière de révéler sa présence : c'est le sondage, opération importante qui exige des développements étendus.

[1] On emploie également les expressions de *prospection* ou d'*exploration*. L'explorateur qui découvre un gisement en est dit l'*inventeur*.

Digitized by Google

Nous en ferons l'objet des chapitres IV et V, en nous attachant principalement pour le moment aux gîtes qui se trouvent en contact avec l'extérieur sur une certaine étendue, appelée *affleurement*.

C'est, bien entendu, cette partie qui attirera l'attention des explorateurs, soit qu'il s'agisse de recherches méthodiques conduites avec toutes les ressources de la science, ou au contraire d'une rencontre purement fortuite. On ne doit pas se dissimuler en effet que le hasard et le temps sont les deux facteurs les plus efficaces, en ce qui concerne la découverte des gîtes minéraux affleurant au jour. Il en est bien peu qui aient échappé jusqu'ici à cette double influence, et que l'on puisse trouver aujourd'hui vierges de vieux travaux témoignant du passage des anciens.

La recherche méthodique exige chez ceux qui s'y livrent des qualités personnelles de flair et de sagacité, une certaine expérience et l'instruction théorique. La science géologique en effet, née autrefois des observations du mineur, lui apporte aujourd'hui par réciprocité le plus utile secours. Je commencerai par entrer à cet égard dans quelques développements.

Un premier principe fondamental consiste dans la constance de l'ordre de superposition des terrains qui constituent l'échelle classique de composition de l'écorce terrestre d'origine sédimentaire. On ne devra donc plus, dans le fonçage d'un puits de recherches, espérer rencontrer la formation que l'on poursuit, si l'on parvient à des strates qui présentent, d'une manière indubitable, les caractères d'un terrain plus ancien qui n'aurait pu être que subordonné aux couches cherchées, si elles avaient existé sur ce point. C'est ainsi, par exemple, qu'un sondage de recherche du terrain houiller devra être arrêté, si l'on atteint avec certitude le calcaire carbonifère ou le terrain dévonien.

Toutefois, ce principe évident doit être tenu seulement pour un guide très précieux, mais non pour un axiome qui ne puisse souffrir aucune infraction. Il peut arriver en effet, dans des cas exceptionnels, qu'un fonçage rencontre d'abord le terrain le plus ancien, et, au-dessous, un autre plus récent. Cette circonstance peut même se présenter de deux manières différentes.

La première se produira dans les renversements de terrains

Digitized by Google

(fig. 1). Ce phénomène, bien souvent constaté, peut être rapporté à des plissements, tels que ceux qui ont été reproduits avec netteté dans les expériences de M. l'inspecteur général des mines Daubrée[1]. C'est ainsi, par exemple, que l'on trouve le granite au-dessus de la craie sur plus de quarante lieues de long en Saxe[2],

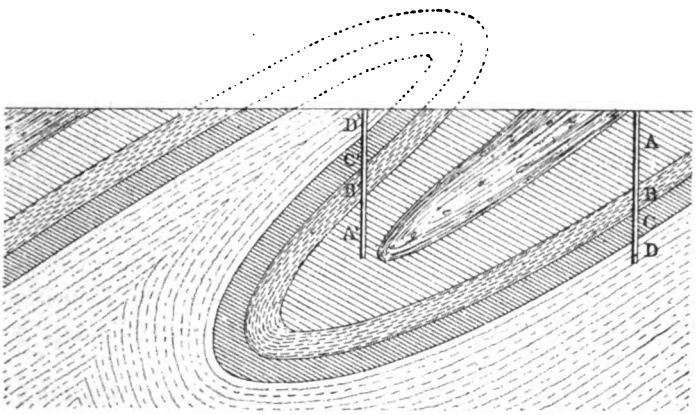


Fig. 1.

et le terrain houiller surmonté du terrain dévonien en certains points du bassin franco-belge. Au milieu des montagnes Rocheuses, le terrain cambrien surmonte le crétacé sur onze kilomètres de longueur. Dans l'Himalaya, les schistes cristallins recouvrent un massif tertiaire[3]. Avec de semblables conditions, il est clair qu'un sondage exécuté au milieu de la région normale indiquerait la succession de couches A, B, C, D, tandis que celui que l'on forerait dans la partie renversée les présentera dans un ordre contraire D', C', B', A'.

Une seconde cause d'inversion (fig. 2) peut se trouver dans les rejets, dont nous parlerons plus loin avec détails (chap. III), et qui en remontant, contrairement d'ailleurs au mode le plus ordinaire, le toit[4] d'une faille sur le mur, amènent dans une même verticale

(1) Daubrée, *Études synthétiques de Géologie expérimentale*, p. 294.
(2) Daubrée, *Études synthétiques de Géologie expérimentale*, p. 342.
(3) Marcel Bertrand, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 14 mai 1888.
(4) A l'occasion de cette première apparition des expressions techniques en usage parmi les mineurs, il ne sera pas inutile de fixer immédiatement ce langage. Sauf les

Digitized by Google

des superpositions interverties. Supposons, par exemple, qu'après le dépôt du terrain A, B, C, D, E, une faille φ l'ait affecté en remontant le toit dans la position A′, B′, C′, D′, E′; qu'en second lieu une vaste érosion vienne raser une partie de la couche E, de C′, et la totalité de D′ et de E′ qui surmontaient cette dernière; qu'enfin une nouvelle formation se dépose en M. Si l'on recherche la couche D par le sondage S, on

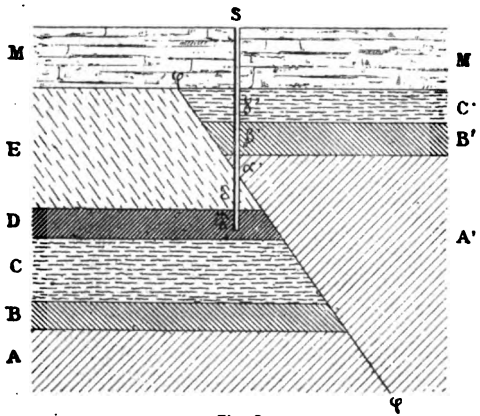


Fig. 2

amas, de formes quelconques, qui ont rempli des cavités dues à des actions peu régulières, les gîtes minéraux, filons ou couches, se rapprochent en général de la forme plane. Leur masse se trouve comprise théoriquement entre deux plans parallèles, ou que l'on peut du moins considérer comme tels dans une étendue limitée. La distance de ces plans s'appelle la *puissance;* la roche sur laquelle repose le gîte est le *mur;* celle qui le surmonte constitue le *toit;* toutes les deux sont appelées les *épontes* de la masse minérale.

Pour définir la situation d'un plan dans l'espace, on envisage en premier lieu sa section par un plan horizontal. C'est ce qu'on appelle la ligne de direction, ou, plus simplement, la *direction* du plan. Le même mot est également employé pour désigner la valeur de l'angle que fait cette orientation avec le nord. On l'évalue en degrés à partir du nord vrai, ou en *heures* de la boussole, qui valent chacune 15° et se comptent à partir du nord magnétique dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre.

On distingue en second lieu la perpendiculaire élevée dans le plan lui-même sur son horizontale. C'est la ligne de plus grande pente, ou la ligne d'inclinaison, ou plus simplement encore l'*inclinaison* du plan. Ce même terme sert également à désigner la valeur de l'angle que cette droite fait avec sa projection horizontale, et qui mesure l'angle dièdre du plan du gîte avec celui de l'horizon. On remplace également cette expression par celles de *plongement* ou de *pendage*. Les deux moitiés d'un plan séparées par une ligne de direction en forment l'*amont-pendage* et l'*aval-pendage*, suivant qu'elles se trouvent situées au-dessus ou au-dessous de cette horizontale. Disons enfin que, selon que le plongement rapproche sensiblement le plan de l'horizontale ou de la verticale, le gîte prend le nom de *plateure* ou *partie plateuse*, ou bien au contraire de *dressant* ou *partie raide*.

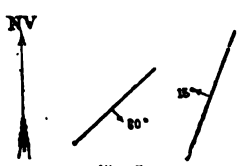


Fig. 3.

On représente un plan (fig. 3) par sa ligne de direction, une petite flèche qui marque de quel côté a lieu le plongement, et la valeur numérique de cette inclinaison.

Digitized by Google

pourrait être tenté, dès l'arrivée en γ', après la traversée des morts-terrains M, de se décourager par la rencontre du banc C' que l'on sait être, d'après l'ordre connu de superposition, subordonné à la partie cherchée D'. Cependant si l'on persiste, après avoir traversé encore B' et A' en β' et α', on retrouvera en ε un terrain E précurseur de la couche D, que l'on atteindra enfin elle-même en δ.

On voit donc qu'il est nécessaire de se tenir en éveil, quant à la possibilité de semblables exceptions. Il est du reste inutile d'ajouter qu'un praticien prudent ne les admettra jamais, pour justifier la continuation de ses opérations au delà d'un terrain trop ancien, que s'il a eu l'occasion de recueillir d'ailleurs un ensemble d'indices clairs et multipliés, de nature à lui faire présumer avec quelque probabilité l'existence de tels états de choses.

3 — En même temps que la géologie a fixé avec précision, au moins dans leurs grandes lignes, l'âge relatif des terrains sédimentaires et leur correspondance dans les diverses contrées, elle a établi une coordination analogue pour les formations plutoniennes, dont les unes sont relativement jeunes et les autres beaucoup plus anciennes. Cette succession a été précisée, non seulement pour les grandes masses éruptives qui constituent des parties étendues de la surface terrestre, mais aussi en ce qui concerne les substances qui, peu importantes par leur masse, présentent au contraire par leur nature un très grand intérêt pour l'industrie minérale. C'est ainsi par exemple que, sauf de très rares exceptions [1], les venues d'étain n'ont pas dépassé les périodes granitique ou porphyrique; tandis qu'au contraire les gîtes de soufre de quelque étendue ne se rencontrent pas avant l'époque tertiaire. On se trouve d'après cela renseigné, dans une certaine mesure, sur la nature des gisements d'origine éruptive que l'on pourra espérer rencontrer dans une région donnée, et, réciproquement, sur les types de terrains dans lesquels on peut raisonnablement rechercher des substances déterminées.

[1] Qui ont coïncidé avec la récurrence des pegmatites du début de l'époque tertiaire (De Lapparent, *Traité de Géologie*, p. 1177.)

Digitized by Google

Ce n'est pas d'ailleurs seulement une limite générale, soit antérieure soit postérieure, que l'on peut demander à la théorie pour guider les recherches que l'on a en vue. Parfois elle les circonscrit dans des horizons assez nettement caractérisés, souvent à la vérité avec une sorte de dualité. On sait, par exemple, que les grandes venues de cuivre se sont placées à l'époque permienne et surtout dans le terrain permien supérieur, toutefois avec une récurrence analogue à celle de l'étain, quoique incomparablement plus fréquente, dans l'éocène supérieur. Les filons de plomb se placent principalement dans l'ère triasique, et aussi à l'époque sidérolitique, contemporaine de la formation des Pyrénées. Le sel s'est concentré dans la formation permo-triasique, mais avec un retour important à l'époque tertiaire. Les pyrites de fer se trouvent surtout à la transition entre le trias et le lias, avec une nouvelle arrivée à la base de la craie.

4 — Enfin la géologie nous fait connaître encore certaines associations d'un caractère assez constant, qui ont pour résultat de préciser encore davantage le milieu spécial dans lequel des recherches déterminées offriront des chances de succès. C'est ainsi que le cuivre se trouve associé, avec une persistance marquée, à des roches magnésiennes, souvent d'origine boueuse. Le quartz est la gangue essentielle de l'étain, ou de l'or. Le plomb s'accompagne plutôt de baryte et de chaux. L'argent a pour gangue caractéristique la calcite. Les minerais de fer et les phosphorites ont effectué leurs diverses apparitions avec une sorte de simultanéité dans l'échelle géologique. Le sel, le soufre, le bitume forment un cortège presque inséparable, et s'accompagnent mutuellement en proportions plus ou moins marquées dans leurs gisements respectifs.

5 — L'emplacement géographique lui-même n'échappe pas à certaines lois dont on peut tirer parti dans les recherches. C'est ainsi que M. l'inspecteur général des mines de Chancourtois a signalé l'alignement, le long de certains grands cercles, de nombreuses formations de sel, de soufre, de pétrole. De même les

Digitized by Google

filons métalliques se trouvent souvent concentrés dans le voisinage des rivages qu'occupait la mer à l'époque de leur apparition [1]. L'étain se rencontre toujours sur les bords de l'éruption granitique avec laquelle il est en relation. Des matières solubles ou délayables, comme l'azotate de soude ou le guano en gisements superficiels, doivent être recherchées seulement dans les contrées privées de pluie que circonscrivent les grands mouvements de l'atmosphère en relation avec certains reliefs du globe.

6 — *Prolongement des gîtes.* — Les théories géologiques viennent encore en aide aux explorations, non plus quand il s'agit de découvrir d'emblée la présence d'une substance donnée dans une certaine région, mais pour conclure avec une certaine probabilité, de la découverte d'un premier gisement, à la présence de gîtes similaires à proximité. Elles fournissent à cet égard deux principes généraux qui sont d'une grande utilité.

Le premier est celui du prolongement des gîtes dans leur propre plan. Distinguons à cet égard ce qui concerne les couches ou les filons.

Pour ces derniers, on comprend facilement qu'une fracture de l'écorce terrestre, reconnue sur une faible étendue avec une grande netteté, a dû probablement se propager sur un prolongement plus ou moins considérable [2], et qu'une minéralisation identique aura, au même moment, rempli cette fente dans tout son développement. Il y a donc quelque chance pour que des filons de même nature existent dans l'alignement de la direction du premier. De là un motif d'étudier cette zone avec un soin tout particulier, en y recherchant des vestiges d'affleurements analogues.

S'il s'agit au contraire de dépôts sédimentaires, tels que les bassins houillers, il y a lieu de chercher de proche en proche la prolongation de formations reconnues dans une certaine contrée.

[1] Ce qui s'explique facilement en ce que les dislocations qui leur ont donné naissance se sont naturellement concentrées le long de la ride principale qui a déterminé l'approfondissement d'un côté et l'exhaussement de l'autre.

[2] Le plus grand filon connu est le *Mother Lode* de Californie, qui a été suivi sur un développement de 120 kilomètres. (De Launay, *Formation des gîtes métallifères*, 95.)

Digitized by Google

lorsqu'elles semblent disparaître sous des terrains de recouvrement. Il est arrivé souvent en effet que, la première masse éprouvant des mouvements de bascule autour de certaines charnières, des dépôts d'épaisseur croissante se soient effectués sur les parties progressivement submergées par cet affaissement angulaire. C'est ainsi, par exemple, que le bassin belge et celui de la Sarre, visibles à découvert dans une grande étendue, ont été poursuivis avec succès sous les morts-terrains qui en dissimulaient en France le prolongement; qu'une jonction souterraine a été recherchée entre les bassins de Blanzy et du Creuzot (Saône-et-Loire); qu'on soupçonne une semblable continuité entre le bassin franco-belge et d'une part celui de Westphalie à travers le Limbourg, d'autre part la côte anglaise par-dessous la Manche, le sud du pays de Galles, et peut-être quelques traces reconnues jusqu'en Irlande.

7 — *Parallélisme des gîtes.* — Un principe analogue est celui du parallélisme des gîtes. Nous distinguerons encore à cet égard ce qui concerne les filons ou les couches.

Pour les premiers, on observe souvent (fig. 4) qu'une fracture déterminée par les tensions de l'écorce terrestre s'est accompagnée d'éclatements parallèles; ce qui se comprend assez naturellement, les directions des forces restant à peu près identiques dans une étendue limitée. Ces fractures, contemporaines les unes des autres, se sont minéralisées de la même manière et ont donné naissance à un même groupe de filons. Il est donc permis en général d'espérer qu'une reconnaissance dirigée normalement à la direction d'un filon bien caractérisé puisse amener la découverte de gîtes semblables. Nous verrons du reste (N° 44) dans quelles conditions doit être dirigé cet ouvrage pour avoir le plus de chances de *couper riche* le nouveau filon, afin que le mineur ne soit pas exposé à le méconnaître en le traversant.

En ce qui concerne les formations sédimentaires, la probabilité est encore plus nette. Les dépôts charbonneux et les bancs stériles ont en effet ordinairement alterné bien des fois les uns avec les autres (fig. 5 et 6), avant que le bassin fût affecté par des

Digitized by Google

redressements et des plissements définitifs. Il y a donc encore

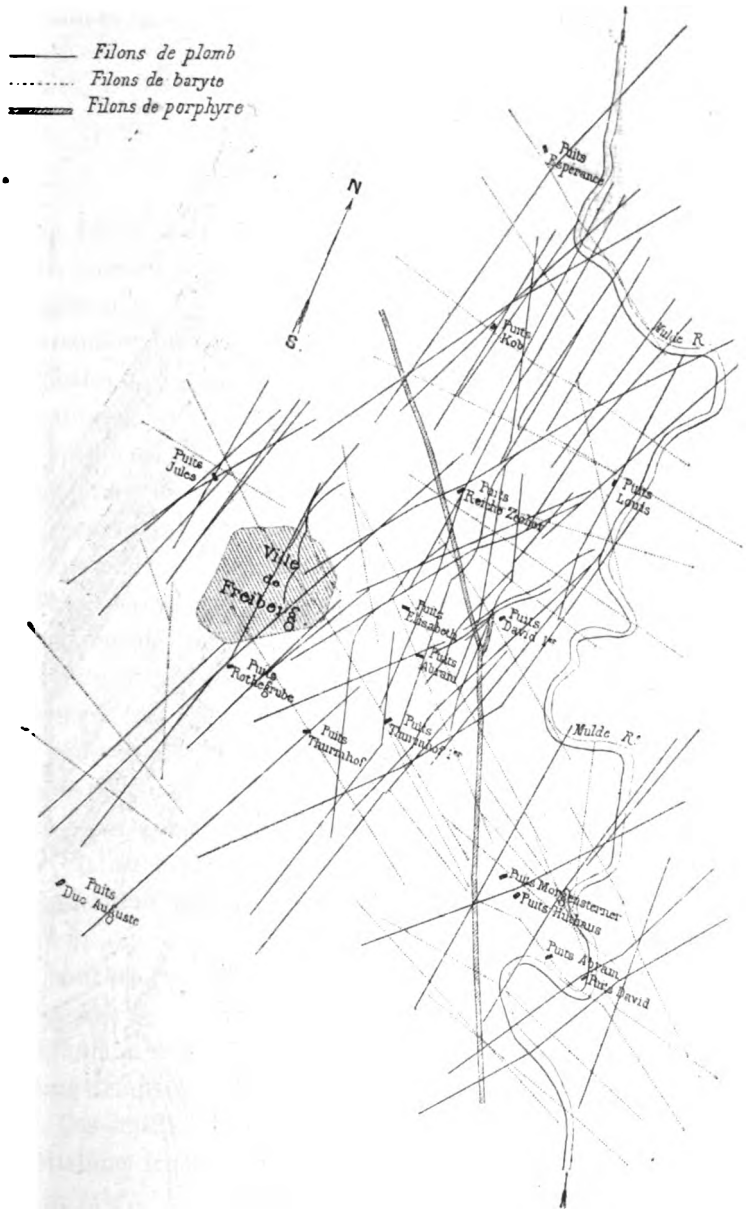
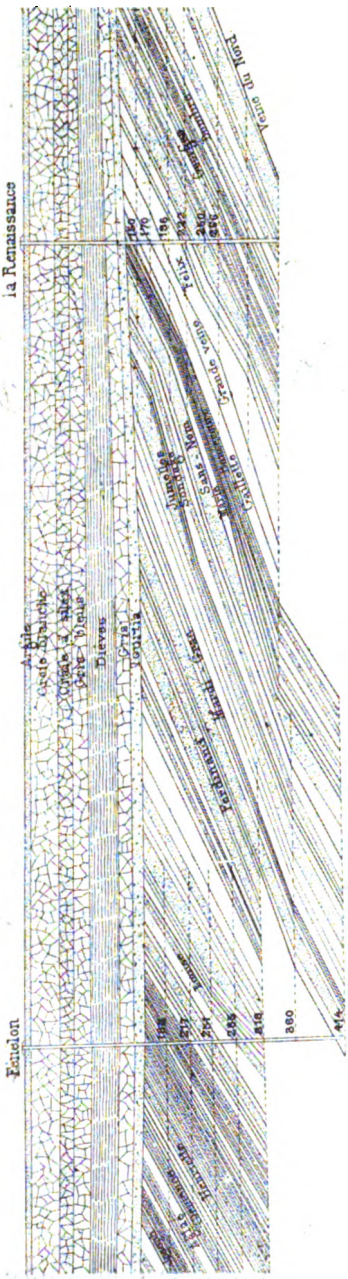


Fig. 4. — District de Freiberg.

une certaine probabilité pour qu'une couche de combustible re-

Digitized by Google

connue avec quelque importance soit accompagnée de lits parallèles,


Echelon
Artis
la Renaissance
Dieves
Toulia
Toulia
Toulia

qui auront participé aux mêmes soulèvements, en conservant une allure commune [1].

§ 5

INDICATIONS LOCALES

8 — *Indications archéologiques.* — Les renseignements précédents constituent des données très utiles, mais d'un caractère trop général pour pouvoir, dans chaque cas, avancer la question d'une manière décisive. Il nous reste donc à envisager les investigations locales de détail. Nous distinguerons à cet égard trois sortes d'indications : archéologiques, minéralogiques ou magnétiques.

Les premières consistent dans les traces de toute nature qu'auront pu laisser de vieux travaux remontant à une époque plus ou moins reculée. Elles permettront, non pas à proprement parler de découvrir, mais de retrouver des gîtes minéraux.

Parfois l'étymologie suffit pour mettre l'attention en éveil, lorsque l'on rencontre des noms tels que la Minière, la Ferrière, la Calaminière, l'Argentière, l'Aurière, etc. Il conviendra cependant d'apporter à cet égard une grande circonspection, car cette similitude pourrait aussi être fortuite et sans valeur.

L'étude des vieux documents peut également rendre des services, ainsi que celle des traditions qui se seront conservées dans la localité. Il est toutefois nécessaire de se tenir en garde contre les exagérations dont ces dernières sont presque toujours empreintes.

Des bouches de galeries éboulées et obstruées, des haldes de matières stériles imprégnées de mouches de minerai, indiquent d'une manière indubitable l'emplacement précis d'anciens travaux, en même temps que la nature des substances qui en faisaient l'objet. Ces dépôts sont même devenus dans certains cas la base d'exploitations fructueuses, en raison de la supériorité de la mé-

[1] Vuillemin, *Le bassin houiller du Pas-de-Calais*, Lille, in-8°. — Delafond, *Recherche des gîtes de houille*, aide-mémoire de la collection Léauté. — Anderson, *The prospector's Handbook*, 1895.

Digitized by Google

tallurgie actuelle sur les procédés de l'antiquité. C'est ainsi que les *ekvolades* du Laurium (Attique) ont pu être reprises, ainsi que les *tailings* de nombreuses mines d'or. Il en a été de même des haldes de Redrith (Cornouailles), pour le tungstène que renferme le wolfram abandonné par les anciens mineurs.

Les haldes de scories sont également en relation nécessaire, quoique moins immédiate, avec des gisements dont elles révèlent approximativement la nature, mais sans préciser autant leur situation que dans le cas précédent.

9 — *Indications minéralogiques.* — La présence de fragments appartenant à des espèces minérales utiles sera ordinairement la circonstance décisive qui mettra sur la voie d'une découverte. Ces indices peuvent être solides, liquides ou gazeux.

On rencontre souvent des fontaines de gaz hydrogène carboné en relation avec des gîtes de pétrole, de houille, ou parfois de sel gemme. Les districts de Bakou sur la mer Caspienne, du pays de l'huile en Pennsylvanie, de Ou-tong-kiao en Chine, en fournissent de nombreux exemples.

Les sources salées indiquent le voisinage de formations de chlorure de sodium; des eaux ocreuses, celui de gîtes de fer, la plupart du temps du reste sans valeur; des gouttelettes de mercure la présence du cinabre. C'est ainsi que la découverte d'un peu de mercure natif dans les eaux d'une fontaine a révélé en 1497 l'existence du beau gisement d'Idria (Carniole).

Mais les indications les plus ordinaires seront fournies par des fragments solides; soit qu'ils appartiennent à des minerais proprement dits, tels que la galène, la blende, la pyrite cuivreuse, la cassitérite, etc.; soit qu'il consistent en gangues sans valeur propre, mais dont la concomitance habituelle avec les précédents mérite de fixer l'attention, comme la baryte sulfatée, le spath fluor, etc. Ce n'est d'ailleurs pas au hasard que l'on dirigera sur le terrain les explorations. On examinera les tranchées des carrières, des chemins de fer. On suivra attentivement les thalwegs et le lit des torrents, où la pesanteur et l'action des eaux ont pu accumuler les fragments caractéristiques. Si, en remontant une semblable ligne,

Digitized by Google

on voit ces indices cesser subitement au delà d'un certain point, on en retrouvera peut-être la succession dans un vallon latéral s'embranchant sur la vallée principale à l'endroit où l'on a perdu leur trace. Si, au contraire, aucun thalweg perpendiculaire n'aboutit à ce point, on devra explorer attentivement le flanc du coteau, qui recèle vraisemblablement à peu de distance l'affleurement.

La manière d'être de ces fragments renseignera en outre, dans une certaine mesure, sur la proximité du lieu où ils existent en place. Lorsque, par exemple, on trouve en bon état de conservation des matières relativement friables comme la galène cristallisée, il est clair qu'elles n'ont pu être amenées de bien loin. Si, au contraire, des fragments d'étain ou d'autres matières dures sont roulés et polis, on est fondé à croire qu'ils ont dû accomplir un assez long trajet avant de parvenir au point où ils ont été recueillis. Nous pouvons ajouter qu'en général les plus gros fragments se déposent près du lieu d'origine, tandis que les moindres sont entraînés plus loin.

10 — *Indications magnétiques.* — Dans le cas particulier des recherches d'oxyde de fer magnétique, ou de pyrites nickelifères présentant la même propriété, on a pu tirer un utile secours de l'emploi de la boussole. Déjà, vers la fin du siècle dernier, Jars avait indiqué dans ses *Voyages métallurgiques* que les ingénieurs suédois traçaient sur le terrain une méridienne par des procédés astronomiques, et la parcouraient en notant attentivement les variations de la déclinaison. Les perturbations s'accusaient d'une manière spéciale dans le voisinage des masses magnétiques et permettaient, en resserrant les observations, d'arriver à une détermination approximative de l'emplacement du minerai.

11 — M. de Thalen a systématisé cette opération avec son *magnétomètre*[1]. L'investigateur mesure de proche en proche la

[1] De Thalen, *Sur la recherche des mines de fer à l'aide de mesures magnétiques*, 1877. — Magnétomètre pour la recherche des gisements de fer. *Annales industrielles*, 1882, n° 2. — Sur les surfaces isodynamiques autour d'un barreau aimanté vertical avec leur application à une étude des mines de fer. (*Œfversigt of kongl. Vetershaps*

Digitized by Google

composante horizontale de l'intensité magnétique, à l'aide d'une boussole de déclinaison et d'un aimant mobile qu'il place par rapport à elle dans une situation toujours identique. Il observe la déviation apportée par cet aimant à la déclinaison naturelle, qui est fournie par l'aiguille elle-même lorsque l'on éloigne le barreau magnétique à une grande distance. On arrive ainsi, à l'aide de stations espacées de 30 mètres au plus, à tracer des lignes isodynamiques qui, dans le voisinage d'un gîte, prennent une forme caractéristique (fig. 7) consistant en deux systèmes de courbes fermées décrites concentriquement autour de deux foyers, où s'observent respectivement le maximum et le minimum de déviation. Ces courbes s'ouvrent de plus en plus en s'éloignant du foyer, et passent d'un groupe à l'autre par une ligne sans courbure. La droite qui joint les foyers indique le plan vertical dans lequel on peut s'attendre à rencontrer une *masse droite*, telle que celles que présente fréquemment la Suède. Si la profondeur à laquelle se trouve le gîte est considérable, c'est à l'intersection de cet axe avec la ligne sans courbure qu'il se rapproche de la surface. Au fur et à mesure que cette profondeur diminue, le point de plus grande richesse se rapproche du foyer austral le long de cet axe. On est alors assez clairement renseigné à cet égard par la forte attraction qui se manifeste en ce point. Ces résultats ont été constatés par M. de Thalen sur diverses exploitations, et se sont ensuite vérifiés d'une manière remarquable dans des recherches

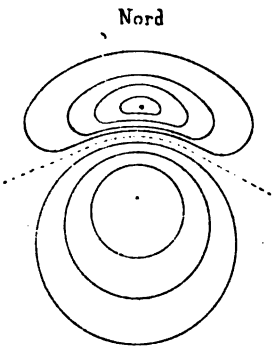


Fig. 7.

Akademiens förhandlingar, XXXI, p. 7.) — F. Wrede, Sur l'étude des mines de fer au moyen de l'observation magnétique, *ibidem*, 33. — F. Gaulthier, *Bull. min.*, 2e, IV, 461. — Nordenström, *Industrie minière de la Suède*, traduction de Kramer. Exposition internationale de 1883 à Madrid, p. 20. — Pérard, Emploi de l'aiguille aimantée pour la recherche des minerais magnétiques, *Rev. univ. d. m.* 2e, XII, 371. — Smock, The use of the magnetic needle in searching for magnetic iron ore. *Transactions of the American institute of mining engineers*, IV, 353. — De l'emploi de la boussole dans l'exploration des mines de fer, *Génie civil*, XII, 164. — *Engineering and mining journal*, 20 juillet 1895.

Digitized by Google

directes. Cette méthode a même été employée à l'intérieur des travaux de certaines mines, pour en éclairer la marche et faciliter le passage des rejets.

Le magnétomètre présente cependant le défaut de ne fournir aucune indication sur l'importance probable des gites dont il annonce la présence, ce qui expose à des mécomptes. De plus il éprouve des variations importantes dans son intensité magnétique, ce qui oblige à opérer assez vite pour ne pas risquer que les indications cessent d'être comparables entre elles.

12 — On peut également, au lieu d'une aiguille de déclinaison, employer la boussole d'inclinaison [1]. Ce procédé a été appliqué en 1844 dans la région du lac Supérieur. L'aiguille est lestée de manière à se tenir horizontalement sous l'action de la terre seule, en s'inclinant par la perturbation due au gisement. On se guide dans ces recherches en mesurant à la fois la déviation angulaire et le nombre d'oscillations par minute, pour juger de la force perturbatrice et, par suite, des probabilités concernant la distance et l'importance de la masse magnétique (fig. 8).

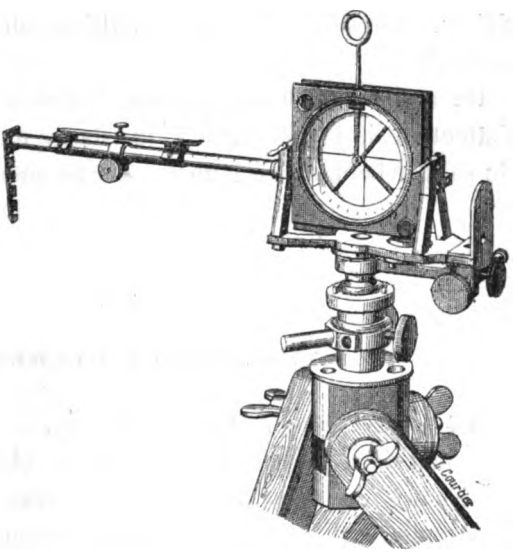


Fig. 8. — Magnétomètre de Nordenström.

13 — On a cru pouvoir proposer également pour les recherches

[1] Sauvage. *Annales*, 7e, VIII, 3 et 9. — *Bull. min.*, 2e, IV, 461.

Digitized by Google

de ce genre, sous le nom de *révélateur électrique Mac-Evoy* (1), une disposition simplifiée de la balance d'induction de Hughes, dans laquelle le voisinage de masses métalliques a pour effet de modifier l'équilibre d'induction et de produire un son téléphonique. Cet appareil a en effet rendu des services précieux pour la découverte d'objets métalliques perdus en mer, de balles restées dans des blessures, etc. Mais, en ce qui concerne la recherche de filons métallifères, il est nécessaire de faire remarquer qu'un gisement composé d'oxydes, de carbonates, de sulfures, ne saurait être assimilé à un métal proprement dit, et que le cas de masses importantes de métaux natifs est absolument exceptionnel. Il y aura donc beaucoup à rabattre, pour cet ordre d'applications, de l'utilité que possède dans des conditions différentes cet ingénieux appareil.

On a cité dans le même ordre d'idées, comme méritant de fixer l'attention de l'explorateur, l'insistance marquée de la fulguration du sol par la chute du tonnerre sur un même point (2).

§ 4

TRAVAUX DE RECHERCHES

14 — *Travaux sur l'affleurement.* — La constatation en un seul lieu de la présence du minerai en place suffit pour affirmer l'existence du gîte, mais non, à beaucoup près, celle de son exploitabilité. Une étude préliminaire est nécessaire pour que l'on puisse se croire autorisé à énoncer à cet égard au moins des probabilités. Pour obtenir ce premier aperçu, l'on aura la ressource des explorations sur l'affleurement et des travaux dans la profondeur. Distinguons ces deux ordres de recherches.

Il faut, avant tout, reconnaître autant que possible l'affleurement sur toute son étendue. Il en est qui s'accusent aux regards

(1) *CRM*, 1882. 148. — Shegan, Indicateur électrique de mines. *Lum. élect.*, XXII, 231. — *The engineer*, 2e semestre de 1882.

(2) *Lum. élect.*, XXXIX, 97.

Digitized by Google

même de loin, quand on embrasse l'horizon d'un seul coup d'œil à partir d'un lieu élevé. Par exemple certains chapeaux de fer (N° 35) déterminent des zones rouges qui sillonnent la contrée; des dykes quartzeux ont été maintenus par leur dureté en saillie sur un terrain plus altérable par les agents atmosphériques; inversement, d'autres matières, moins consistantes que la roche encaissante, y dessinent des dépressions que l'on peut suivre de proche en proche.

Bien souvent, au contraire, la trace du gîte arrive à disparaître complètement. On peut recommander dans ce cas l'emploi d'un artifice indiqué par Mallard. Il arrive parfois, en effet, que la formation sédimentaire dont la couche utile fait partie renferme quelque banc stérile, mais d'un aspect caractéristique et facilement reconnaissable sur le terrain. Sa distance au premier étant connue, il suffira de suivre dans la campagne cet affleurement auxiliaire, pour y rattacher ensuite la couche inconnue et en retrouver les vestiges.

En admettant l'hypothèse de la forme rigoureusement plane de la veine, quand elle ne s'écarte pas trop *a priori* de la réalité, on a pu, dans certains cas, rapporter trois points bien déterminés de l'affleurement à des axes de coordonnées dirigés respectivement vers le nord, l'est et le zénith, et former l'équation de leur plan, pour en déduire sa direction et son inclinaison, et rechercher son intersection avec la surface topographique. Néanmoins, comme cette dernière ne saurait figurer dans le calcul par son équation, on trouvera beaucoup plus d'avantages à recourir aux procédés graphiques, en employant la méthode des *plans cotés* qui permettra de représenter très convenablement la surface du sol au moyen d'un levé approximatif, et de construire son intersection par le plan de la couche.

15 — Quelques fouilles superficielles seront ordinairement nécessaires pour achever de reconnaître avec certitude l'affleurement, soit qu'on les pousse de proche en proche en suivant son alignement, soit que l'on procède par tranchées transversales sur sa direction présumée, pour l'y rechercher de distance en distance.

Toutes les parties de l'affleurement ne mériteront pas, du reste,

Digitized by Google

au même degré de fixer l'attention. Nous verrons, en étudiant de la répartition de la richesse dans les gîtes minéraux (chap. II), comment on devra apprécier dans chaque cas quelles sont les directions, les plongements, les roches encaissantes, qui présenteront le plus de chances de correspondre à des parties riches et bien caractérisées.

16 — *Travaux souterrains à flanc de coteau.* — Quant aux travaux de recherche souterrains, il est bien difficile d'en donner une formule générale, tant leur conduite sera étroitement liée aux circonstances particulières à chaque cas. Des tâtonnements sont souvent même inévitables. Il nous faut tout au moins, pour pouvoir présenter une explication générale, distinguer deux types généraux d'emplacements, selon que la masse minérale se trouve située dans le flanc d'un coteau au-dessus d'une vallée, ou qu'elle plonge, au moins pour sa partie la plus importante, au-dessous des points inférieurs de la région.

Si le gisement se trouve dans le contrefort d'une vallée, on l'attaquera en galeries. Il conviendra de placer l'une d'elles aussi bas que possible, afin de garder en amont-pendage la plus grande partie du gîte, qui se trouvera ainsi asséchée. On aura grand soin cependant de se mettre à coup sûr au-dessus des plus hautes eaux connues dans le pays, tant par la tradition que d'après les traces laissées par les crues. A partir de l'entrée, la galerie ira en montant en pente très douce, pour faciliter la sortie des wagonnets chargés et assurer l'écoulement des eaux souterraines.

Ces ouvrages peuvent affecter deux situations distinctes. La première constitue la *galerie d'allongement* ou *de direction*, qui explore pas à pas le gîte suivant une ligne sensiblement horizontale, en épousant toutes ses inflexions afin de ne pas le perdre. Si la puissance est plus grande que la largeur de la galerie, on tiendra celle-ci de préférence au mur, qui restera plus stable, tandis que le toit risquera d'être ébranlé par les travaux ultérieurs. La galerie d'allongement présente l'avantage de faire connaître en détail le gîte, et de compenser dans quelques cas une partie des dépenses par un abatage rémunérateur, si l'on obtient à cet égard un per-

Digitized by Google

mis de vente[1]. Mais ce dernier point de vue doit être en général écarté comme secondaire. En revanche, ce mode présente l'inconvénient des sinuosités qui peuvent gêner le roulage.

Si le gisement est d'une nature éboulcuse, ou s'il est *pourri* par l'eau, on trouvera parfois avantage, au double point de vue de la dépense et de la sécurité, à le suivre parallèlement à quelque distance dans une formation solide, en repérant de temps en temps le gîte au moyen de traverses.

On peut, en second lieu, pratiquer des galeries *à travers bancs* qui, partant de points choisis le plus avantageusement possible, se dirigent en ligne droite au travers du terrain stérile, pour recouper la veine et reconnaître sa situation. Les renseignements fournis par une même longueur de percements sont alors moins complets; certains gîtes risqueraient même d'être méconnus au moment de leur traversée, et ne comportent pas un tel mode de recherches. En revanche, on recueille par là certaines informations sur le terrain encaissant qui peuvent offrir de l'intérêt. On aura en outre la chance de découvrir des gîtes parallèles, s'il en existe.

En général, d'ailleurs, on combinera ces deux principes, en exécutant des galeries d'allongement et y branchant de temps à autre des traverses de reconnaissance, pour sonder à quelque distance les épontes du gîte. Si la recherche prend plus d'importance, on exécutera de semblables percements à diverses hauteurs, en les reliant intérieurement par des ouvrages inclinés, afin d'assurer l'aérage naturel en profitant des différences de niveau.

17 — *Travaux en profondeur.* — Supposons maintenant que le gisement soit situé au-dessous de la vallée. Il peut d'abord arriver qu'il ne se trouve que là. D'autres fois il s'étendra à la fois au-dessus et au-dessous de ce point. Mais l'amont-pendage aura été attaqué et gaspillé par les anciens, qui s'arrêtaient souvent à ce niveau à cause des difficultés occasionnées par les eaux. En pareil cas il sera préférable, au lieu de perdre son temps à étudier longuement, et avec quelque danger, la partie qu'ils ont parcourue,

[1] Dupont, *Cours de législation des mines*, 34. — Aguillon, *Législation des mines*, I, 99.

Digitized by Google

d'attaquer résolument la profondeur qui constitue l'avenir et recèle le dernier mot de la question.

Un premier moyen consiste à exécuter une *fendue* ou *descenderie*, c'est-à-dire une galerie d'inclinaison qui prend le nom de *puits incliné* quand le pendage devient absolument raide. C'est, en quelque sorte, l'équivalent du premier cas dans lequel on procédait au moyen de galeries d'allongement. Cet ouvrage suit en effet le gîte pas à pas, risque moins de le perdre, le fait mieux connaître, mais présente à un degré beaucoup plus gênant encore l'inconvénient des sinuosités, plus fâcheuses dans l'extraction inclinée que pour le roulage horizontal. Il a également l'avantage de pouvoir fournir un produit rémunérateur. Mais ce dernier point de vue constituerait à proprement parler un faux calcul. En effet, outre qu'il est alors prématuré, l'on doit réfléchir qu'en se procurant ainsi d'une manière intempestive une certaine quantité de minerai, l'on condamne par cela seul à n'être prise qu'au bout d'un temps fort long, parfois même tout à fait indéfini, celle qui forme les parois de l'ouvrage, et qu'il sera nécessaire de maintenir sur une épaisseur notable pour assurer la conservation de cette voie de communication.

Un second moyen, que l'on emploiera souvent de préférence, consiste à foncer un puits vertical. Il représente pour le cas actuel ce qu'était le travers-bancs dans le précédent. Il place l'extraction et tous les services dans de bien meilleures conditions, au lieu de charger l'avenir de l'exploitation de puits inclinés qui occasionnent les assujettissements les plus regrettables [1].

Je n'ai pas besoin d'ajouter que ces puits ou ces fendues servent de point de départ pour un système de galeries qui s'y brancheront pour explorer le gîte, comme dans les conditions précédentes où nous les faisions partir du jour.

18 — Ce qui établira toutefois une différence très tranchée entre les deux cas sera la nécessité, dans les circonstances actuelles, d'armer le puits, vertical ou incliné, de moyens méca-

[1] Voyez, sur ce sujet, N° 338.

Digitized by Google

niques d'extraction et d'épuisement, et même d'aérage artificiel, puisque l'on ne rencontre plus les facilités du premier cas qui permettaient de s'en passer.

En raison de l'inconnu qui plane sur cette question, il sera bon de calculer le moteur largement, quoique sans exagération, de manière à ce qu'il puisse encore suffire aux besoins durant une première période de l'exploitation proprement dite, pendant que l'on organisera pour la mine ses moyens d'action définitifs. Si les conditions locales fournissent des forces hydrauliques, le mieux sera de capter de suite la totalité de la puissance disponible, à moins qu'elle ne soit évidemment excessive.

19 — Dans la conduite de ces opérations, on devra se tenir en garde contre une tendance naturelle qui consisterait à passer trop tôt de la recherche à l'exploitation, et à établir, au lieu d'un simple réseau d'exploration, de véritables chantiers d'abatage. En premier lieu la nécessité de la concession s'impose, et la loi française est formelle en ce qui concerne le passage des travaux de recherche à la période d'exploitation (1). Mais, pour nous en tenir ici au seul point de vue technique, et attendu que l'exploitant sera ordinairement bien loin d'être complètement éclairé sur tous les points au moment où il obtiendra l'acte de concession, il risquerait souvent de détériorer le gisement, en commençant à le dépecer avant d'en connaître les véritables points d'attaque. On pourrait préparer ainsi la fatigue du massif, l'altération du combustible, la création de réservoirs d'eau ou de gaz nuisibles, et enfin l'incendie, ou bien charger pour l'avenir l'extraction et le roulage de dépenses supplémentaires qu'il eût été possible d'éviter. Enfin l'on ne doit s'engager à fond dans l'affaire qu'après s'être formé la conviction qu'elle est fructueuse, autant que le comporte cet ordre malaisé d'appréciations qu'il nous reste maintenant à envisager.

(1) Articles 5 et 12 de la loi du 21 avril 1810.

Digitized by Google

§ 5

APPRÉCIATION DU GITE

20 — *Appréciation matérielle.* — Pour se rendre compte de la valeur d'un gîte minéral [1], on devra tout d'abord le cuber, d'après les renseignements que l'on aura pu se procurer sur son étendue en direction, les probabilités de son extension en profondeur et les variations de sa puissance. On obtiendra ainsi une évaluation approchée du total de la matière utile qu'il renferme. C'est la première donnée que l'on met toujours en avant pour caractériser l'importance d'une mine de houille. Il en est de même pour les substances métallifères, et surtout pour celles qui, d'une valeur intrinsèque médiocre, ou tout au plus moyenne, ont besoin d'être exploitées en grande masse pour pouvoir soutenir la lutte avec succès sur le marché. C'est ainsi, par exemple, que l'on verra sans doute un certain nombre d'exploitations trop restreintes de pyrite ou de manganèse décliner peu à peu devant les énormes masses que l'Espagne et le Caucase pourront jeter sur le marché.

Quant aux gîtes de matières précieuses, le volume total leur constitue toujours, bien entendu, une valeur comparative, mais il ne règle plus aussi étroitement le fait même de l'exploitabilité. Si le minerai prend une valeur exceptionnelle, comme pour l'or ou l'argent natifs, et les sulfures ou tellurures qui renferment ces métaux, on peut exploiter des puissances excessivement minces. Il se présente alors pour ce cas une circonstance spéciale. Comme il faut toujours donner aux chantiers une épaisseur minima, indispensable pour le passage de l'homme et la manœuvre de ses outils, cette largeur devient alors, ainsi que les frais d'abatage, indépendante de la puissance. Il est donc nécessaire avec de tels filons de faire connaître, en même temps que le volume, leur *surface utile.* On doit évaluer, autant que cela est possible, le nombre

[1] George Moreau, *Étude industrielle des gîtes métallifères*, p. 154. — Fuchs et de Launay, *Traité des gîtes minéraux et métallifères*, 2 vol. in-8°, 1893. — Kirby, *Engineering and mining Journal*, 2 mars 1895 et suiv. — *Génie civil*, 14 sept. 1895.

Digitized by Google

de mètres carrés de leurs parties minéralisées, en même temps que leur *puissance réduite*, c'est-à-dire l'épaisseur constante idéale par laquelle il faudrait multiplier cette aire pour obtenir le volume. De cette manière on supprime par la pensée toutes les irrégularités du filon, en l'assimilant à une plaque uniforme, et l'on fait connaître le nombre de millimètres ou de centimètres qui en mesure l'importance. Je rappellerai, par exemple, qu'à Vialas (Lozère) la puissance moyenne n'atteignait pas deux centimètres[1]. On y pouvait même exploiter économiquement avec un centimètre d'épaisseur réduite, en raison de la richesse de la galène en argent, avant la grande baisse de ce métal. Rien n'empêche du reste de se représenter par la pensée des teneurs plus grandes qui permettraient d'attaquer fructueusement des épaisseurs moindres encore; de même qu'inversement des galènes trop pauvres seraient inexploitables, même avec une puissance supérieure, toutes choses égales d'ailleurs.

21 — Indépendamment du chiffre brut du total de la matière utile, les circonstances de son emplacement exerceront une influence sérieuse sur les conditions de son exploitabilité. D'une manière générale, on peut admettre qu'une couche étendue dans un sens à peu près horizontal (telle qu'un grand nombre de bancs houillers, certains minerais de fer épanchés sur le fond des mers à diverses époques géologiques, la couche cuprifère du Boleo, les schistes cuivreux du Mansfeld, etc.), sera plus avantageuse, à égalité de puissance et de richesse, qu'un filon ou une couche très redressée. Dans le premier cas, en effet, la profondeur des travaux restera sensiblement indépendante, en principe, de la quantité extraite; tandis qu'avec le second elle lui deviendra pour ainsi dire proportionnelle, une fois que l'on atteindra les limites en direction.

L'avenir de cet approfondissement sera lui-même enveloppé de nuages, car les conditions de la formation y varieront beaucoup plus que dans le cas d'un épanchement horizontal. A cet égard,

(1) Garnier, *Bull. min.*, 2e, V, 351.

Digitized by Google

Fuchs signale certaines indications qui peuvent être utiles pour formuler au moins des probabilités sur la persistance du gîte en profondeur. Si par exemple des fissures, de remplissage bien homogène et identique, vont en convergeant vers le bas en éventail, on peut présumer qu'elles ont une racine commune, et même évaluer approximativement la distance à laquelle les différentes veines se rejoindront. Des fentes produites par arrachement sont ordinairement nettes et bien remplies dans la profondeur. Au contraire, les fissures dues au retrait d'une roche éruptive pendant sa solidification sont moins franches, souvent fermées par le bas à peu de distance, et inégalement minéralisées. Nous insisterons plus loin (chap. II) sur leurs dispositions relatives, par rapport aux masses qui constituent l'écorce du globe.

22 — *Appréciation économique.* — L'appréciation géométrique doit se compléter par le point de vue économique. Celui-ci présente tout d'abord deux facteurs fondamentaux, à savoir : le *prix de revient* et le *prix de vente* probables, dont la différence fournira la mesure des bénéfices, si tous les éléments onéreux ont bien été pris en considération. A cet égard on devra calculer très largement, en faisant une grande part à l'imprévu et aux mécomptes [1].

En ce qui concerne d'abord le prix de revient, il faut en effet tenir compte de ce que la main-d'œuvre y figurera pour une part importante. Or son prix actuel dans la contrée aura tendance à hausser pour le travail pénible des mines, et par la concurrence de l'agriculture si le pays est riche. Si au contraire il est pauvre et peu peuplé, il sera indispensable d'y appeler le personnel du dehors. On devra donc se renseigner sur le prix de la main-d'œuvre dans la région où il sera possible d'opérer ce drainage de la population, en y ajoutant le supplément qui sera nécessaire pour décider l'ouvrier à se déplacer, les frais de construction des habitations qu'il faudra lui préparer, et des édifices : écoles, hôpitaux, églises, etc., qu'il y aura lieu d'y rattacher plus tard.

Un second chapitre de dépenses concerne les fournitures, dont

[1] Schiff, Estimation de la valeur d'une mine d'or, *Génie civil*, XXVII, 313.

Digitized by Google

les prix actuels pourront être influencés par la création de la mine. Les bois de soutènement, par exemple, devront être recueillis dans un rayon assez étendu, et il faudra s'attendre à un renchérissement dû à ce dérangement de l'équilibre entre l'offre et la demande.

23 — En ce qui concerne d'un autre côté le prix de vente, le phénomène économique sera précisément inverse, et tout tendra certainement à l'abaisser. De grandes quantités de la matière extraite étant jetées sur le marché, doté de ce nouveau centre de production, un avilissement des cours en sera la conséquence et les prix fléchiront nécessairement. Pour étendre ses débouchés, l'exploitant devra grever sa production de certains frais de transport. Parfois même il lui faudra créer de toutes pièces des voies de communication : routes, chemins de fer, canaux. Ces frais s'accroîtront naturellement pour lui avec la distance, tandis que les producteurs que l'on refoule ainsi vers leurs propres centres verront par là diminuer les leurs, et seront d'autant mieux armés pour soutenir la lutte. Souvent même, au lieu de se contenter d'une attitude défensive, on les verra prendre l'offensive et chercher à éteindre dès le début une concurrence redoutable, en l'écrasant sous une baisse momentanée, irrésistible pour une affaire naissante, mais plus facile à supporter pour celles qui ont déjà leurs situations acquises et leurs réserves accumulées. Dans tous les cas, le prix de vente verra son maximum réglé, indépendamment des frais d'exploitation, par les conditions du marché sur lequel les nouveaux produits auront la prétention de prendre place.

Ces considérations dépendront, du reste, de la nature de la mine. Les matières précieuses supportent mieux les frais de transport et la concurrence. Il n'y a même pas lieu d'en parler pour l'or et l'argent. Les minerais de cuivre, de plomb, d'étain, traversent parfois de très grandes distances pour aller chercher l'usine qui doit les fondre. Les trajets admissibles seront plus limités pour la houille. Enfin les matériaux ordinaires de construction ne sauraient en supporter de notables.

Il pourra arriver, à la vérité, qu'on réussisse du même coup à

Digitized by Google

supprimer en grande partie la chance de baisse du prix de vente et le chapitre des frais de transport, si l'on parvient à créer sur place une industrie de consommation directe des produits nouveaux. C'est ainsi que des anthracites de qualité médiocre et des calcaires de peu de valeur, associés pour la cuisson de la chaux, peuvent donner lieu à des exploitations fructueuses là où chacun des deux éléments, envisagé isolément, ne saurait faire naître une affaire prospère.

24 — S'il est difficile de se prononcer sur l'exploitabilité d'un gîte encore vierge, la question se complique encore lorsqu'il s'agit de reprendre une ancienne mine [1]. De nouvelles inconnues s'ajoutent en effet aux précédentes. Il y a lieu de se demander quelle étendue du gîte les anciens auront déjà prise, et dans quelle mesure ils auront pu, en glanant dans les meilleures parties, compromettre le reste.

D'un côté, l'abandon des travaux est déjà par lui-même un mauvais symptôme. Il a pu, en effet, provenir simplement de l'appauvrissement du filon. Or les conditions de l'exploitabilité ont été en s'aggravant encore sous certains rapports depuis cette époque reculée. La main-d'œuvre était autrefois moins chère qu'au moment actuel. Les premiers occupants, surtout dans un temps où les vues d'avenir étaient inconnues, auront dû prendre le meilleur et laisser les parties les plus malaisées et les moins riches. Leurs travaux discordants, dont l'emplacement reste inconnu, risquent enfin de rendre impossible, ou tout au moins plus difficile, l'enlèvement de de ce qui reste.

En revanche, le réseau des voies de communication est incomparablement plus satisfaisant à notre époque. La puissance des capitaux et de l'association a créé des ressources autrefois inconnues. Les agents explosifs, la machine à vapeur, l'emploi de l'air comprimé ou de l'électricité ont transformé le pouvoir de l'ingénieur. C'est surtout en ce qui concerne l'épuisement, que la question a changé de face. Ce n'est qu'un jeu aujourd'hui de

[1] Les gisements repris à la suite des anciens, *Génie civil*, XXVII, 238.

Digitized by Google

contre-battre des venues d'eau qui eussent été irrésistibles pour les anciens mineurs. Ce sera là souvent la chance la plus favorable pour la reprise d'une mine, quand le niveau inférieur des anciennes tailles montrera qu'elles ont dû s'arrêter devant ce genre spécial d'obstacles. Parfois aussi un filon de plomb s'appauvrissant dans la profondeur a été abandonné à une époque où le zinc était inconnu, et peut encore rester rémunérateur sous ce nouveau point de vue.

En outre bien des contrées ont vu, à diverses époques, l'industrie minérale s'éclipser totalement [1] par des causes générales, telles que la guerre, la famine, la peste, sans que cette circonstance implique aucune présomption fâcheuse contre la richesse de chaque gîte en particulier. On peut dire également que la mauvaise renommée créée pour tel d'entre eux par des reprises réitérées, toujours suivies d'échecs, ne devra pas arrêter absolument une nouvelle tentative, avant d'être passée au crible d'une critique attentive. On a vu en effet l'esprit d'aventure, ou même d'intrigue, l'absence d'économie et la rémunération d'états-majors exagérés, l'impatience d'obtenir des résultats pécuniaires dans un genre d'industrie qui exige l'intervention du temps et des créations onéreuses, compromettre des affaires dont une direction animée d'un autre esprit aurait pu tirer bon parti.

[1] La mine préhistorique de l'Aramo (Asturies) a été abandonnée environ trente siècles avant notre ère, lorsque l'usage du fer n'était pas encore introduit dans l'exploitation minérale. Les outils étaient en corne et en pierre polie. Les mineurs s'éclairaient avec des bois résineux et des torches de graisse. Ils retiraient le cuivre, et laissaient le minerai de cobalt. Ils transportaient les matières dans de petites cuves de bois attachées avec des lanières. Avec d'aussi pauvres moyens, ils n'en ont pas moins exploité le gîte sur 550 mètres de hauteur, et ont dépecé environ 12 000 mètres carrés dans un grand nombre de filons. (Martin, *CRM*, 1894, 313. — Dory, *Rev. univ. d. m.*, 3e, XXV, 121. — Stanislas Meunier, *Le Naturaliste*, 1894, p. 36.)

Digitized by Google

CHAPITRE II

RECHERCHE DES PARTIES RICHES DES FILONS

—

§ 1

MODE DE PRODUCTION DES FILONS

25 — *Systèmes de fractures.* — L'esprit de recherches ne doit pas s'arrêter avec la mise en train de l'exploitation proprement dite, une fois le gîte découvert, son exploitabilité fixée, et la concession obtenue. Il est en effet indispensable d'assurer le constant développement des travaux, tant pour donner à l'affaire une importance toujours croissante que pour remplacer successivement les parties qui s'épuisent. Il est également nécessaire, particulièrement dans les mines métalliques, de pouvoir apprécier avec une suffisante précision les variations de richesse du gîte, de manière à en mieux connaître la valeur actuelle, l'avenir probable, et à savoir sans hésitation où porter les chantiers, suivant le degré d'activité ou de ralentissement des transactions commerciales.

Les recherches souterraines sont en outre nécessaires dans un cas qui se présente fréquemment, celui d'un *dérangement* du gîte qui s'interrompt subitement, et dont il s'agit de retrouver le prolongement, sans le secours de la continuité qui avait pu jusque-là guider de proche en proche le mineur. Une pareille disposition porte le nom d'*accident*, *rejet*, ou *cran*.

La connaissance des lois qui président à la répartition de la richesse dans les filons, et aux accidents qui les interrompent, est donc d'une importance de premier ordre pour diriger les travaux

Digitized by Google

de recherche souterrains. Nous consacrerons respectivement à ces deux ordres de questions ce chapitre et le suivant.

26 — Il est pour cela nécessaire de rappeler succinctement le mécanisme fondamental des mouvements et des ruptures de l'écorce terrestre. Reportons-nous par la pensée à l'époque où la masse liquide du globe, après s'être figée à la surface, a continué à se refroidir en se rétractant sur elle-même au-dessous de cette première croûte solide. Celle-ci devra évidemment suivre le noyau fluide pour continuer à reposer sur lui. Mais la nouvelle sphère étant d'une superficie moindre que la première, la pellicule superficielle, géométriquement trop grande, devra pour cela se plisser suivant certaines zones. Bien que l'ensemble du phénomène ne puisse être d'après cela qu'un affaissement, on comprend cependant que dans ces contournements, certaines parties pourront localement se trouver relevées par les réactions mutuelles au-dessus de leur niveau primitif. Mais, en dehors même de cette considération, comme les cotes absolues de distance au centre nous sont indifférentes, nous pouvons nous borner à l'appréciation des *mouvements relatifs* des parties. A cet effet, nous attribuerons par la pensée l'immobilité à la portion qui constitue la majeure partie de la sphère à une distance notable de la ride produite, en considérant comme *soulevés* au-dessus d'elle les éléments qui y font finalement saillie. Certaines masses molles ou élastiques pourront se prêter sans disjonction à l'effet de la poussée du fluide intérieur et des réactions mutuelles de l'écorce; mais des couches déjà dures et cassantes ne sauraient obéir à ces flexions [1] sans éprouver certains éclatements.

Examinons de plus près ce phénomène, en prenant pour guide les vues énoncées par M. Moissenet, inspecteur général des mines, dans son important ouvrage sur le Cornouailles [2], mais en ayant soin de mettre le lecteur en garde contre l'insuffisance possible

[1] Et surtout aux torsions qui, appliquées par M. Daubrée à des plaques de verre, lui ont fourni des types analogues aux systèmes de rupture naturelle du terrain, (*Études de Géologie synthétique*, pl. I, p. 311.)

[2] Moissenet, *Parties riches des filons*, 1874, p. 39.

Digitized by Google

d'une extension trop absolue à d'autres districts métallifères de cette analyse, que nous présenterons cependant en termes généraux pour plus de facilité [1].

27 — Supposons, pour fixer les idées, que le granite G (fig. 9) tende à soulever le terrain sédimentaire T, T_1, T_2... Il se for-

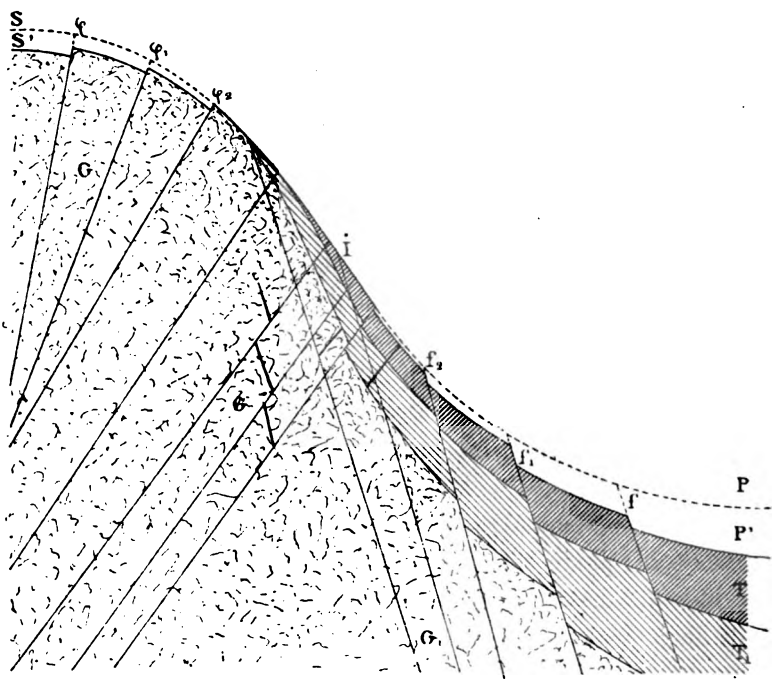


Fig. 9.

mera une sorte de dôme ayant son sommet en S, pendant que les strates se relèveront suivant un profil qui aura son pied en P, et présentera une inflexion en un point intermédiaire I. Si les couches ne sont qu'imparfaitement adhérentes les unes aux autres, elles tendront à glisser par leur poids vers le pied de ce talus. Il se produira d'après cela des cassures *f*, f_1, f_2... plongeant du même côté que la masse du terrain, c'est-à-dire *synclinales* ou *conformes*, avec glissement pour chacune d'elles du toit sur le mur. De cette

[1] Voyez plus loin page 49, note 1.

Digitized by Google

manière la courbe s'abaissera de P en P′ par une suite de rejets en escalier. En même temps, le gonflement du plan horizontal suivant la convexité du soulèvement ne saurait s'effectuer sans des éclatements rayonnants. Ceux-ci plongeront par suite en sens contraire du pendage, comme l'indiquent les lignes φ, φ_1, φ_2... *anticlinales* ou *inverses*. Ces ouvertures pourront rester entrebâillées, mais, pour chacune d'elles, le toit aura en ce moment peu de tendance à descendre sur le mur, car il continue pendant un temps plus ou moins long à être sollicité par la poussée intérieure du granite, refoulé sous la calotte S par les affaissements généraux de l'écorce.

Seulement, lorsque cette influence aura cessé, il se manifestera en sens inverse un tassement des parties superficielles pour suivre le retrait des matières éruptives. Cet effet tend à ramener le sommet S à une altitude moins élevée S′, en profitant des fractures anticlinales déjà opérées pour en faire glisser le toit sur le mur, et déterminant au besoin de nouveaux éclatements du même genre. Quant aux fissures conformes *f*, elles auront alors moins de tendance à jouer; car on peut admettre que les tassements de la partie sédimentaire auront fini par trouver leur équilibre. C'est donc surtout la production de cassures anticlinales qui prédominera jusqu'à la fin, et en effet M. Henwood les considère comme plus fréquentes que les autres [1]. Mais cette seconde période, inverse de la première, produisant une sorte de bascule vers la région moyenne, moins solidement arc-boutée que le pied du talus, y développera dans les deux sens des fêlures qui, se croisant les unes les autres, pourront même *s'intercepter* mutuellement, de sorte que telle fente anticlinale s'arrête brusquement sur une fracture synclinale sans se propager au delà, ou réciproquement.

28 — Ce grand plissement de la croûte terrestre adoptera naturellement sur la sphère la ligne de moindre résistance, c'est-à-dire un arc de grand cercle, qui dessinera la direction de tous les plans *f* et φ dont nous venons de parler. Mais l'on comprend en même temps qu'un si vaste mouvement ne pourra se propager au

[1] Henwood, *Remarques sur les gisements métallifères du Cornwall.* (*Annales*, 7e, II, 173.)

Digitized by Google

loin, sans déterminer des fatigues transversales qui se traduiront de leur côté par d'autres fractures. Celles-ci épouseront également les surfaces de moindre résistance capables de permettre ces jeux secondaires, c'est-à-dire des plans perpendiculaires à la direction précédente. Le rôle des fractures transversales est en effet visible, quoique d'une manière plus effacée, dans ces grands phénomènes de dislocation.

29 — Lorsqu'une durée suffisante aura éteint l'activité du phénomène, il arrivera que d'autres affaissements généraux de l'écorce devront se produire pour marquer une nouvelle ère de refroidissement. Bien souvent le défaut d'équilibre et de consolidation de l'édifice que nous venons de décrire, le prédisposera à servir encore une fois de charnière pour un second mouvement. Des fractures différentes pourront s'ajouter aux anciennes dans la même direction; ces dernières, mal soudées, auront tendance à se rouvrir, et d'autres, restées ouvertes, exécuteront de nouveaux glissements.

Si, au contraire, les efforts proviennent d'une région éloignée, avec une tendance oblique prononcée, un phénomène semblable au premier se reproduira, mais dans une direction différente, et son système de fractures deviendra un *croiseur* du précédent. Une circonstance analogue pourra même renaître, et affecter le premier champ de fractures plusieurs fois, par des systèmes de croiseurs dont chacun exercera son influence sur tous les précédents, tandis que l'observateur n'en constatera naturellement aucune sur ceux qui ont suivi; ce qui lui fournira le criterium caractéristique de l'âge relatif de ces divers événements.

On peut remarquer, à cet égard, que plus un certain champ de fractures aura été déjà éprouvé par des dislocations répétées, plus il deviendra, par son peu de solidité, apte à ressentir le contre-coup d'effets éloignés plus facilement qu'une étendue encore intacte interposée entre les deux centres. On peut expliquer par là l'extrême complication de certains districts métallifères, et le retentissement qu'y ont exercé des soulèvements dont le théâtre principal se trouvait à une grande distance, mais dont on y

Digitized by Google

retrouve pourtant la trace. C'est ainsi qu'à Vialas, Rivot a reconnu l'action de huit systèmes de montagnes différents [1] et de sept époques de remplissage. MM. Michel Lévy et Choulette ont noté de même dix influences distinctes de soulèvement à Przibram (Bohême) [2]. La quantité absolue des fentes devient parfois innombrable. Le nombre des filons dépasse un millier dans le gneiss de Freyberg. Il s'élève encore davantage quand il s'agit de veinules de retrait, dont on a énuméré plus de six mille aux mines d'or de Berezowski (Oural).

30 — *Minéralisation.* — Parmi les fissures auxquelles ces grands phénomènes mécaniques ont donné naissance, les unes sont restées stériles. On les appelle *failles*, et elles ne présentent guère pour le mineur que des influences fâcheuses. D'autres, au contraire, ont reçu de l'intérieur un remplissage souvent utilisable pour l'industrie. Elles portent le nom de *filons*. Cette minéralisation s'est du reste effectuée d'après plusieurs modes distincts.

Principalement dans la région qui avoisine l'axe du soulèvement, certaines cassures, en relation profonde avec les liquides comprimés, ont été directement remplies par ces matières refoulées, qui ont pu même s'épancher par-dessus l'affleurement. Ce sont les filons d'*injection*, dont l'ensemble est constitué par une roche homogène. Ce genre de formation, qui a pris une grande part dans la composition des masses pierreuses de l'écorce terrestre, n'a joué qu'un rôle plus effacé en ce qui concerne les gîtes métallifères.

Près des bords de la chaîne au contraire, dans la région où l'intensité du phénomène s'est trouvée atténuée, des communications trop étroites pour permettre de tels épanchements, mais encore perméables aux gaz, ou le plus souvent à la vapeur d'eau charriant diverses substances volatiles, ont été remplies par *sublimation*. C'est souvent aussi le mode de minéralisation des fissures de retrait, opérées pendant la solidification des masses éruptives.

Un troisième mécanisme a formé les filons d'*incrustation*. Cer-

(1) Rivot, *Annales*, 6e, IV, 309 et 379.
(2) Michel Lévy et Choulette, *Annales*, 6e, XV, 182.

Digitized by Google

taines fentes sont restées longtemps béantes, ou se sont rouvertes successivement un certain nombre de fois, en raison des tassements et malgré la soudure imparfaite de leurs parois. Elles ont constitué ainsi un réseau de circulation souterraine pour les eaux thermales qui, après s'être chargées de diverses substances dans les régions profondes, sont venues les déposer sur les parois, en raison des changements de température, de pression, d'état électrique, qu'elles subissaient en remontant à des niveaux supérieurs, ou des réactions chimiques opérées avec les matières encaissantes. Les variations de composition survenues au sein de ces eaux, pendant les diverses phases du phénomène, ont souvent donné lieu, avec la plus grande netteté, à une disposition rubanée (fig. 10), symétrique des deux côtés du filon, avec un vide central et des cristallisations dont les pointements sont dirigés vers l'intérieur.

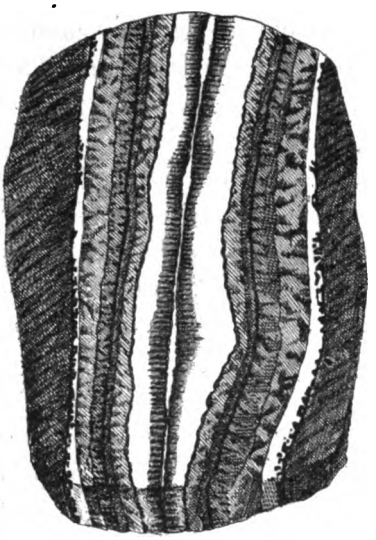


Fig. 10. — Coupe transversale d'un filon.

C'est précisément de cet ensemble complexe d'actions exercées par les sources hydrothermales et les véhicules gazeux qu'il s'agit en ce moment de démêler les lois, pour prévoir celles qui ont dû influencer la répartition de la richesse dans les filons, et qui formeront le guide du mineur dans ses travaux de recherche intérieurs.

§ 2

INFLUENCE DES ROCHES ENCAISSANTES

31 — *Influences chimiques.* — Les lois qui ont présidé à la répartition de la minéralisation dans l'intérieur des fentes natu-

Digitized by Google

relles [1] dépendent de deux classes différentes d'influences : la nature des roches encaissantes [2], et les conditions géométriques de la fracture.

L'influence des roches s'est elle-même exercée de deux manières distinctes : d'après leur nature chimique et ses rapports avec la composition des eaux minérales, ou d'après leurs qualités physiques, propres à déterminer un mode de fracture présentant telles ou telles circonstances géométriques.

L'action chimique correspond de son côté à deux ordres d'idées différents. D'une part les épontes, en réagissant sur la solution qui les baigne, provoquent des doubles décompositions de nature à déterminer le dépôt des matières dissoutes. En second lieu, l'attaque plus ou moins facile des roches par cette action corrosive a préparé un emplacement plus ou moins large pour l'abondance de ces dépôts.

Nous allons examiner successivement ces divers côtés de la question.

32 - - L'influence des doubles décompositions est manifeste. Les eaux stannifères, en attaquant le granite, y ont trouvé les éléments nécessaires pour saturer les principes minéralisateurs, tels que le fluor, qui servaient à charrier l'étain. Dès lors l'oxyde de ce métal s'est précipité, et en même temps la roche, profondément altérée, s'est trouvée imprégnée de minéraux caractéristiques,

(1) Les énoncés propres à guider les mineurs, en ce qui concerne la distribution de la richesse des gîtes métallifères, ont été formulés principalement par Charles Thomas (*Remarks on the Geology of Cornwall and Devon in connexion with the deposits of metallic ores and on the bearing of the productive lodes*, 1859), Henwood (*Annales*, 7e, II, 165), Carne, Fox, Tregaskis, Rivot. On peut consulter à cet égard les ouvrages suivants : Moissenet, *Sur les parties riches des filons*, 1874. — Fuchs et de Launay, *Traité des gîtes minéraux et métallifères*, 1893. — De Launay, *Formation des gîtes métallifères*, aide-mémoire Léauté. — George Moreau, *Étude industrielle des gîtes métallifères*. — Alb. von Groddeck, *Traité des gîtes métallifères*, traduit de l'allemand par Küss, chez Dunod. — Knab, *Les minéraux utiles et l'exploitation des mines*, in-16. — Lodin, Les mines de Pontgibaud, *Annales*, 9e, I, 481. — Emmons, Relations structurales des gîtes métallifères, traduction de Bergier, *Rev. univ. d. m.*, 3e, X, 1890.

(2) Cette influence était déjà classique du temps de Délius, qui l'énonce d'une manière générale et cite à l'appui l'exemple des mines du Banat. (*Instruction sur l'art des mines*, 1773, traduction de Schreiber, I, 64.)

Digitized by Google

tels que la tourmaline, laissés sur place comme des témoins de ces réactions.

Les solutions plombifères, en dissolvant les calcaires du Derbyshire, ont déposé au milieu de ces strates le sulfure de plomb, tandis que dans le trapp, ou toad-stone, qui est moins attaquable, le filon disparaît à peu près et *meurt*. Il en est de même pour la *table de pierre* dans les mines des Cordillères.

A Schladming (Styrie), un filon assez pauvre en nickel a recoupé quatre couches *brûlées*, imprégnées de mispickel. Le nickel d'un côté, et l'arsenic de l'autre, se sont pour ainsi dire donné rendez-vous sur les intersections rectilignes de ces systèmes de plans, et l'exploitation s'est par suite concentrée dans ces sortes de prismes minéralisés.

33 — Quant à l'influence de la roche sur le volume final du gisement, elle est également évidente. Les filons du Cumberland sont riches dans le calcaire, pauvres dans les grès, stériles dans le schiste. Ceux du Cornouailles sont riches dans le killas, appauvris dans le granite. Les gisements qu'on appelle *calaminaires* se sont étendus au loin et sans formes régulières dans les calcaires, de manière à s'y substituer, sur des étendues considérables, au carbonate de chaux.

On ne doit pas se dissimuler en même temps que les gîtes qui ont présenté le plus de facilités à la circulation des sources hydrothermales auront souvent, en raison de leur nature cariée, conservé une partie de cette aptitude, et que les exploitations qu'on y pratiquera risqueront d'être particulièrement gênées par l'abondance des eaux.

Les bancs rebelles à l'action des liquides minéraux ont formé en quelque sorte des barrages, qui, en gênant la circulation des courants, les ont amenés à s'étendre au large en dessous de cet écran, de manière à développer leur action sur cette région. C'est ainsi que dans la formation du Laurium, où les calcaires alternent avec les schistes, le gisement de plomb et de zinc s'épanouit dans le calcaire, à chaque contact de cette roche avec un banc schisteux qui la surmonte.

Digitized by Google

34 — Il est clair que de pareils échanges ne peuvent s'opérer sans altérer profondément la composition des eaux, et modifier par suite les réactions dont elles seront capables à des niveaux supérieurs. Aussi est-ce un fait extrêmement fréquent que la variation de la nature des filons avec la hauteur.

En général on doit craindre, pour l'avenir d'une affaire industrielle, leur appauvrissement dans la profondeur; les dépôts n'ayant commencé à s'effectuer que lorsqu'en approchant de la surface les véhicules voyaient se modifier leur température, leur pression, leur état électrique. Un pareil phénomène pèse sur toute la formation métallifère du Derbyshire, et a déterminé un grand ralentissement pour la prospérité de ce district minier. Les cuivres gris argentifères s'appauvrissent presque toujours dans la profondeur. L'affaiblissement de la minéralisation peut même être quelquefois d'une incroyable rapidité. On a vu par exemple, en ce qui concerne certaines mines d'or de l'Amérique du Sud, des fissures de retrait présenter une teneur de 92 grammes à la tonne près de la surface, 16 grammes à 10 mètres d'approfondissement, et seulement des traces à 20 mètres.

On voit également des amas, très puissants à la surface et de nature à faire concevoir de grandes espérances, tourner court à peu de distance et s'amincir rapidement. Cela tient à ce que les sources hydrothermales arrivant vivement par les fentes, s'épanchaient à la surface en forme de bassin plus ou moins étendu, dans lequel elles pouvaient agir à loisir. Les gîtes calaminaires exposent souvent à de pareilles déceptions, et il est prudent de n'y enfouir qu'à bon escient des capitaux importants dans des aménagements étendus et onéreux.

Il arrive quelquefois au contraire, quoique beaucoup plus rarement, que des filons s'enrichissent en profondeur, ce qui revient à dire que les eaux s'appauvrissaient en montant, en raison des échanges opérés avec les parois, et qu'elles épuisaient ainsi leur action. Certaines couches interceptent absolument le filon, qui ne présente plus au delà aucune minéralisation.

On observe enfin des modifications, non seulement dans la teneur, mais dans la nature de cette minéralisation, tel élément commen-

Digitized by Google

çant à entrer en scène dans les doubles décompositions, lorsque la solution s'est suffisamment appauvrie par rapport à un autre réactif d'affinités plus énergiques. Il arrive, par exemple, dans le Cornwall, que des filons de cuivre passent à l'étain [1] et réciproquement [2], et que, pour des localités assez nombreuses, le zinc remplace le plomb en profondeur. Dans les mines de métaux précieux de la chaîne des Andes, à une zone riche superficielle chloro-bromo-iodurée succède souvent une bande oxydée, cariée et appauvrie, après quoi un nouvel horizon plus favorable se rapproche des caractères du premier.

35 — Un phénomène de ce genre se présente avec une certaine constance pour un très grand nombre de formations métalliques. Il résulte avec évidence de l'influence exercée, près du jour, par l'oxygène de l'air, agissant soit directement, soit par l'intermédiaire des eaux de la surface. On observe presque toujours, à l'intersection de la masse par le niveau hydrostatique de la région, un changement de nature du minerai, parfois aussi brusque que complet. Il donne naissance au *chapeau de fer*. Les sulfures se sont oxydés, et les terres rouges, les squelettes d'oxyde de fer, sont restés seuls, tandis que redescendaient les sulfates solubles. Ceux-ci, subissant à leur tour une nouvelle réduction, après être sortis de la zone oxydante, ont fixé de nouveau leur radical, en déterminant la formation d'une bande riche immédiatement au-dessous du chapeau de fer.

C'est ainsi que le cuivre, qui manque dans les chapeaux de fer de Tharsis et de Rio-Tinto (Huelva), se trouve accumulé avec une teneur sensiblement plus grande que celle de la masse inférieure, dans la zone immédiatement subordonnée au plan des eaux topographiques [3]. De même au Canigou (Pyrénées-Orien-

[1] Le *main Lode* de Dolcoath, après le passage du chapeau de fer, a présenté, de 20 mètres à 320 mètres, une grande richesse en cuivre. A partir de ce point, la teneur a décliné rapidement et l'étain a commencé à apparaître. A la profondeur de 380 mètres, on est arrivé à créer la plus productive des mines d'étain du Cornwall. Le filon présente encore, à 700 mètres, un très beau caractère.

[2] Combes, *Traité d'exploitation*, t. I, p. 37.

[3] Délius avait sans doute connaissance de faits analogues, car il énonce la formule

Digitized by Google

tales), certains niveaux séparent le minerai rouge du minerai blanc.

On a rencontré des filons dont le sommet, préservé dès le premier moment de l'action des eaux extérieures, est resté formé de pyrites. Au-dessous, une zone d'oxydation correspond au plan hydrostatique, puis la pyrite reprend dans la profondeur.

La conclusion à tirer de ces observations est qu'il sera bon d'apprécier autant que possible la situation probable de ce plan de niveau des eaux, et de diriger d'après cela les travaux de recherche de manière à couper le filon en pleine richesse.

36 — *Influences physiques.* — Les propriétés physiques de la roche ont pu intervenir par sa plus ou moins grande conductibilité pour la chaleur et l'électricité. Mais l'influence la plus nette est celle de la ténacité.

On peut la caractériser par l'énoncé suivant : *Les parties les plus avantageuses d'un filon sont celles qui sont encaissées dans les roches de* DURETÉ MOYENNE [1]. On les appelle *bonnes couches*. Celles qui sont ou trop dures ou trop friables sont désignées sous le nom de *mauvaises couches*.

On comprend en effet que des roches dures ou élastiques cèdent difficilement à l'effort de rupture, et que la séparation y manque de netteté. Les terrains friables, de leur côté, obéissent sans résistance, mais les épontes sont dépourvues de solidité, elles tendent à s'ébouler et à refermer la fente, en obstruant les canaux à l'aide desquels les eaux minérales auraient pu la transformer en un filon utile. Des roches poreuses laisseront les eaux s'éparpiller au hasard, au lieu de se concentrer dans le laboratoire du filon.

Au contraire, quand ces qualités extrêmes sont remplacées par une moyenne convenable, le terrain se fend avec netteté, et la fracture persiste ensuite assez longtemps pour pouvoir être avantageusement minéralisée.

suivante comme un proverbe de mineurs : « Il n'y a jamais de si bonnes mines que celles qui ont un chapeau de fer ». (*Instruction sur l'art des mines*, traduction de Schreiber, I, 69.)

[1] Cette règle a été contestée en Amérique.

Digitized by Google

Il n'est pas inutile de faire observer que, quand il s'agit d'appliquer cette règle d'une manière rationnelle dans des travaux de recherche, il convient d'apprécier la dureté de la roche encaissante, non pas sur les épontes immédiates, où cette roche n'est plus que l'ombre d'elle-même par suite des altérations qu'elle a subies, mais dans sa masse même et à une distance suffisante pour qu'on puisse apprécier ce qu'était le terrain, au moment où il a été sollicité à se fendre.

§ 3

INFLUENCE DE L'ORIENTATION DES FILONS

37 — *Influence de l'inclinaison.* — Lorsqu'une fracture tend à se propager à travers l'écorce terrestre, elle prend naturellement la voie de moindre résistance. Si nous supposons d'abord un massif homogène, ce sera la voie la plus courte, c'est-à-dire le plan vertical. Aussi les filons présentent-ils la plupart du temps un pendage très accentué, quand ils ne sont pas absolument verticaux.

Si au contraire la masse du terrain n'est pas homogène, et si elle est formée de strates inclinées par rapport à la direction de l'effort, la surface de moindre résistance ne sera plus celle de moindre étendue géométrique. D'autres influences plus ou moins complexes pourront alors intervenir, et l'on comprend que la

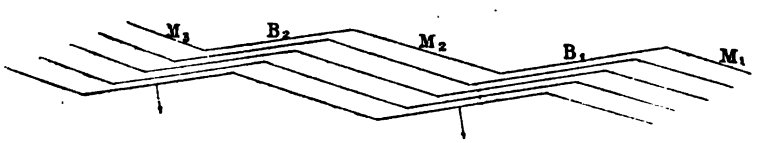


Fig. 11.

surface d'ensemble, tout en restant plane dans chaque couche homogène, puisse présenter une orientation variable de l'une à l'autre. Un tel filon, si on le mettait à nu par l'enlèvement de son toit, présenterait à la vue une série de bandes comprises entre des droites parallèles, formant des *cannelures* de directions

Digitized by Google

et de plongements variables. La figure 11 représente, avec le système des *plans cotés*, cet état de choses.

Il s'attache par suite un grand intérêt à discerner l'influence que pourra exercer sur la richesse la variation de la direction et du plongement, selon qu'on se dirigera dans le filon par une galerie de niveau ou par une fendue suivant la ligne de plus grande pente.

38 — En ce qui concerne d'abord la variation d'inclinaison, l'on peut énoncer cette règle essentielle : *Les parties les plus raides sont les plus riches*. Il va sans dire que cette formule ne doit pas être entendue d'une manière absolue, en ce sens que tout filon A moins incliné qu'un filon B, doit par cela même être moins fructueux, ce qui serait absurde; mais au contraire que, *dans un même filon*, soumis à la même circulation hydrothermale dans toutes ses parties, les plus redressées ont été en général mieux enrichies par le mode de formation [1].

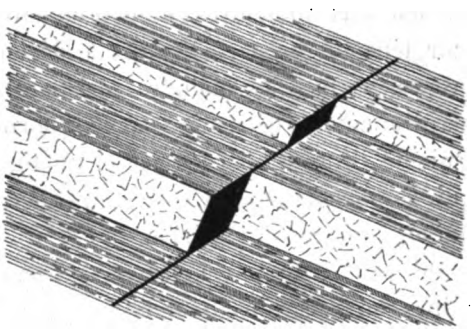


Fig. 12.

Le fait s'explique du reste facilement. En effet, dans le glissement du toit sur le mur (fig. 12), les parties plates, servant de support, n'ont pas de motif de varier sensiblement d'épaisseur, tandis que la largeur des parties verticales va toujours en augmentant par l'écartement progressif de leurs épontes. De plus, les vides sont toujours entretenus dans ces zones par les petits mouvements successifs, tandis que le poids supporté

[1] On attribue d'ordinaire cette remarque à Richard Thomas, qui l'a formulée en 1819 (*Report on a Survey*, etc., p. 20); mais le fait était bien connu des anciens mineurs français, car Hellot l'a énoncé en 1756, dans sa description de l'exploitation des mines de Baigorri, en Basse-Navarre (Gobet, *Anciens minéralogistes du royaume de France*, t. I, p. 216). Cette règle était cependant encore niée par Délius en 1773. (*Instruction sur l'art des mines*, traduction de Schreiber, I, 49.) Ajoutons en outre qu'elle a été contestée en Amérique.

Digitized by Google

par la partie plate doit la broyer dans ce glissement, en produisant des salbandes argileuses et gênant la circulation des sources hydrothermales. C'est donc dans les parties raides que ces dernières trouvent à la fois le plus de facilité pour circuler et les plus grands emplacements pour effectuer leurs dépôts. On peut penser, d'après cela, que ce seront les plus productives, et l'expérience est en effet conforme à cette manière de voir [1].

Il est du reste un second motif qui milite précisément dans le même sens. En effet, nous avons vu que l'influence de la roche s'exerce en ce que les cannelures les plus fructueuses sont ouvertes dans les couches de dureté moyenne. Celles-ci auront obéi plus facilement que les autres à la tendance générale à la rupture qui s'exerce suivant un plan vertical. Elles seront donc essentiellement des parties raides. Au contraire, les roches trop dures, qui correspondent aux cannelures moins productives, résistant davantage par leur ténacité propre, tendent à dévier la fracture suivant leur propre surface de moindre résistance, c'est-à-dire dans le plan perpendiculaire déterminé par leur normale et par la droite suivant laquelle ils sont abordés par la fracture de la bonne couche, plan qui, en abandonnant la verticale, se sera plus ou moins couché, ce qui est conforme à l'énoncé.

On peut d'après cela juger à première vue, sur un plan de mines où se trouvent figurées les galeries de niveau (fig. 11), quelles doivent être les cannelures les plus productives, d'après l'espacement de ces galeries en projection horizontale. Les parties serrées, marquées B, sont les plus raides : ce sont les bonnes cannelures; les plus claires, marquées M, correspondent aux plus plates : ce sont les mauvaises cannelures.

39 — *Influence de la direction.* — M. Moissenet a dégagé le premier une importante règle, analogue à la précédente, mais plus dissimulée sous l'obscurité des observations. Il l'énonce de la

[1] On voit en même temps, et ce fait avait été spécialement énoncé par Henwood (*Metalliferous deposits*, 1843, p. 231), que quand un puits incliné, suivant la ligne de plus grande pente d'un filon, passe d'une partie plate à une partie raide, le mur plonge le premier, pendant que le toit se tient encore sur une certaine longueur à la même inclinaison, et ne prend que plus loin le nouveau pendage.

Digitized by Google

manière suivante [1] : *Les parties riches des filons sont souvent orientées selon la direction du système stratigraphique auquel se rapporte la fracture initiale du filon, dans la région soumise à l'observation.* De là un élément d'appréciation qui, tout en exigeant des connaissances étendues en géologie et des mesures attentives sur le terrain, fournira un guide précieux pour la conduite des explorations et des aménagements.

Nous venons de voir, en effet, que les parties les plus riches sont les plus raides. Leur type le plus simple sera donc un plan vertical, parallèle à la direction générale du plissement formé par le système de soulèvement auquel on s'efforcera de le rattacher [2]. Les zones les plus riches auront par suite une direction très rapprochée de celle-ci; les moins bien partagées, une direction plus ou moins différente.

On ne devra pas se contenter, par conséquent, d'apprécier la direction *générale* du filon, que l'on obtient en joignant l'un à l'autre deux points quelconques, mais très éloignés. Il faudra en

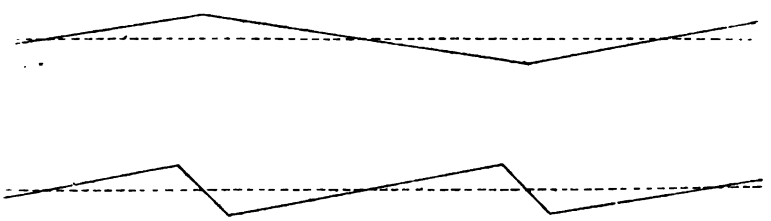


Fig. 13 et 14.

outre scruter attentivement les *déviations* locales qui correspondent aux diverses cannelures. Ces inflexions peuvent être plus ou moins prononcées. Tantôt (fig. 13) elles sont douces, comme les *turns* de Cornouailles; tantôt (fig. 14) on rencontre de petits coudes plus brusques, appelés *warps* dans cette région métallifère. Parfois de longs alignements du filon présentent des déviations étendues, sur

[1] *Parties riches des filons*, p. 26.

[2] Pour apprécier la direction d'un système de soulèvement à une certaine distance de la chaîne de montagnes à laquelle il a donné naissance, on abaissera du point en question un arc de grand cercle perpendiculaire sur celui de la chaîne, et on élèvera à cet arc, par le même point, un grand cercle perpendiculaire. Ce dernier arc fournit la direction cherchée.

Digitized by Google

chacune desquelles se superposent des oscillations de moindre longueur.

Mais, lorsqu'on cherche ainsi à entrer dans les détails des effets de fracture, les choses ne se passent plus tout à fait de la même manière pour les cassures anticlinales φ, ou synclinales f (fig. 9). Il se mêle dans ces dernières des effets d'arrachement dont il y a lieu de tenir compte. Précisons cette distinction [1].

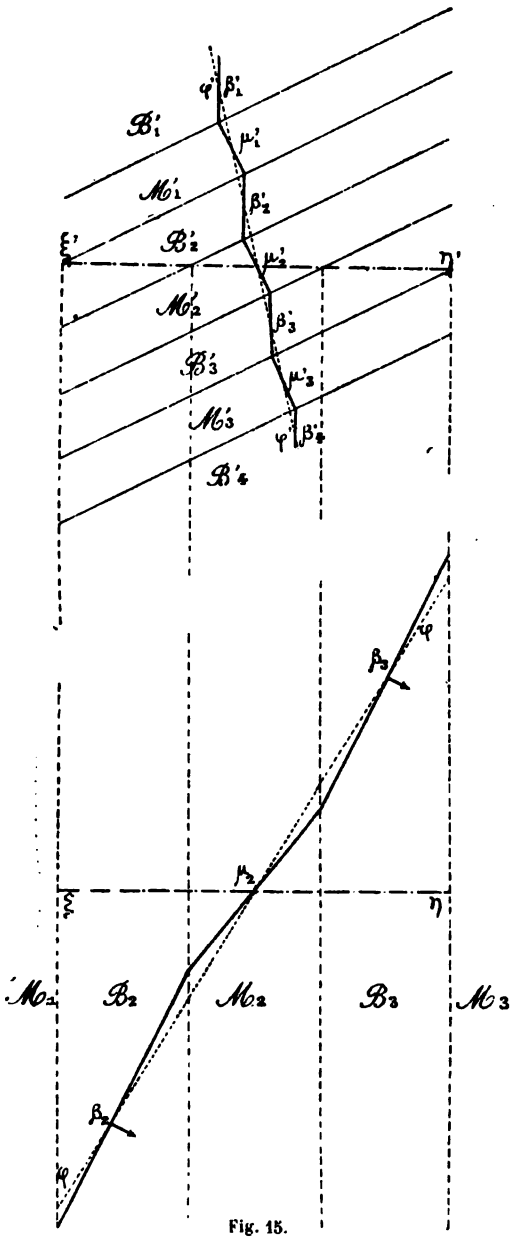


Fig. 15.

40 — Envisageons d'abord (fig. 15) une fracture anticlinale, ou *inverse* φ'. Elle affecte une masse stratifiée dont les couches se trouvent représentées sur le plan vertical de leur ligne de plus grande pente, mené par $\xi\,\eta$. Nous y distinguons en $\mathcal{B}'_1, \mathcal{B}'_2, \mathcal{B}'_3 \ldots$, les bonnes couches, et en $\mathcal{M}'_1, \mathcal{M}'_2, \mathcal{M}'_3 \ldots$, les mauvaises couches. En les coupant par le plan horizontal $\xi'\,\eta'$, nous obtenons les lignes de direction qui les séparent

[1] Moissenet, *Parties riches des filons*. p. 51.

Digitized by Google

en projection horizontale suivant $\mathcal{B}_1$, $\mathcal{B}_2$, $\mathcal{B}_3$,... et $\mathcal{M}_1$, $\mathcal{M}_2$, $\mathcal{M}_3$....

Le filon y affecte la forme dentelée de la ligne φφ. Les parties β_1, β_2, β_3..., qui sont situées dans les bonnes couches, sont, comme nous venons de le voir, celles qui représentent le mieux sur le plan horizontal la direction du système de soulèvement. Le plongement marqué par les flèches est, par hypothèse, en sens contraire de celui de la stratification. Le filon coupe le plan vertical suivant un alignement général φ′ φ′. Dans les bonnes couches, on observe des parties β'_1, β'_2, β'_3..., très rapprochées de la verticale; dans les mauvaises, des travées μ'_1, μ'_2, μ'_3..., inclinées au contraire vers la normale de la stratification. La traversée des mauvaises couches est donc plus courte, et par suite les mauvaises obliques μ_1, μ_2, μ_3..., doivent être un peu plus rapprochées que les bonnes

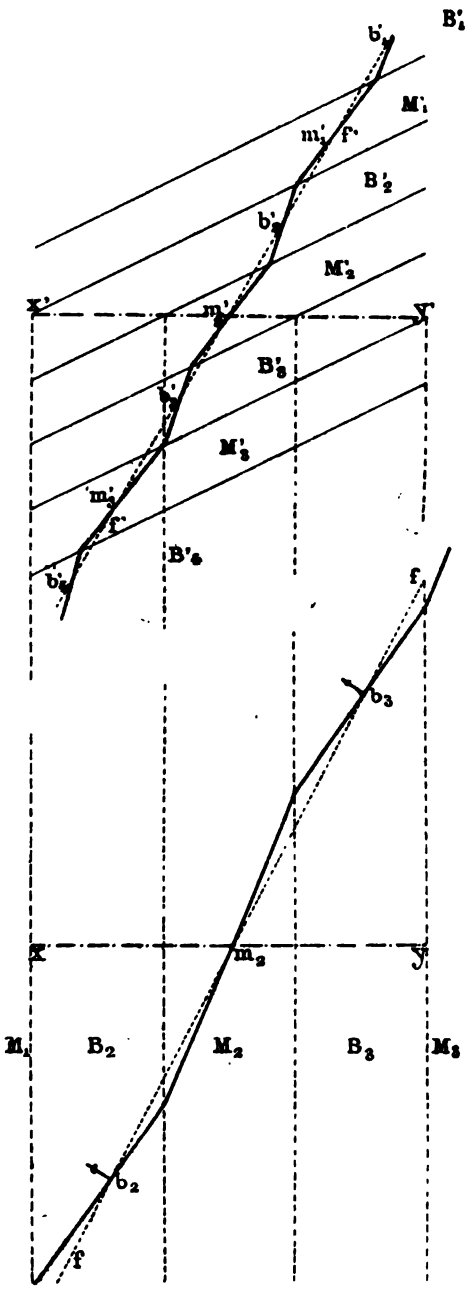


Fig. 16.

Digitized by Google

β_1, β_2, β_3.... de la perpendiculaire $\xi\eta$ à la direction. Elles sont par conséquent déviées de la direction du système de montagnes *en s'éloignant* de celle de la stratification.

41 — Supposons maintenant, au contraire (fig. 16), une fissure synclinale ou *conforme*, f, f'. En plan, elle est supposée avoir ses bonnes parties b_1, b_2, b_3..., dans la direction du système de montagnes, c'est-à-dire parallèles à β_1, β_2, β_3..., de la figure 15. Quant aux mauvaises travées m_1, m_2, m_3..., nous allons voir qu'elles s'en dévient à l'inverse de ce qui avait lieu pour μ_1, μ_2, μ_3..., c'est-à-dire *en se rapprochant* de la direction de la stratification.

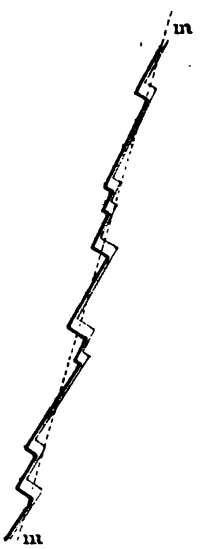


Fig. 17.

Si nous examinons, en effet, la coupe verticale, en suivant l'alignement moyen f' f', les bonnes parties b'_1, b'_2, b'_3..., se rapprocheront, comme il a été dit, de la verticale. Les mauvaises m'_1, m'_2, m'_3..., étant destinées à reporter des efforts en des points qui sont éloignés obliquement l'un de l'autre, y parviendront en combinant, en proportion variable suivant les circonstances, avec la *direction géométrique de moindre résistance* qui est la normale, la *direction physique de moindre résistance* qui est celle des lits mêmes de la stratification, mal soudés ensemble. Dès lors, la travée mm (fig. 17), au lieu de se briser en ligne droite, dessinera des *dents de scie*, en arrachant longitudinalement des fibres peu épaisses, et les décollant latéralement les unes des autres sur de plus grandes longueurs [1].

D'après cette prédominance des longueurs comptées suivant la direction des couches sur celles qui leur sont normales, on voit

[1] Ce décollement sera d'ailleurs suivi, ou non, d'un déplacement longitudinal tel que celui qui a été représenté sur la figure 17. Il pourra, à la vérité, se former des *nids* de minerai dans ces petites chambres, mais chacun d'eux ne présentera aucune suite, et les mineurs savent que la disposition du toit en petits gradins est un indice défavorable.

Digitized by Google

que la traversée de *m* doit être plus longue que celle de *b* entre les mêmes lignes de direction (fig. 16), et par suite que *m* se dévie vers ces dernières, ainsi que nous l'avons annoncé [1].

§ 4

INFLUENCE DE L'ORIENTATION DE LA STRATIFICATION

42 — *Colonnes de richesse.* — Après avoir, autant que possible, établi la classification probable d'importance des diverses cannelures, il reste à prendre un aperçu de la répartition vraisemblable de la richesse dans l'étendue de chacune d'elles en particulier.

On peut formuler, d'après Tregaskis, cette règle d'observation : *Le minerai affecte en général la forme de bandes ou colonnes riches, plongeant dans le filon suivant le sens de ses lignes d'intersection par la stratification encaissante.* On comprend, en effet, que la nappe d'écoulement hydrothermale, engagée dans le lit indéfini formé par le plan de la fracture, s'y ramifie en courants plus prononcés, et par suite plus efficaces, suivant les canaux naturels qui lui offriront moins d'obstacles et un passage plus facile. Or les joints des couches forment les plans les moins résistants de la masse du terrain. Leurs traces sur celui de la fente auront donc plus de chances de s'égrener, de s'éclater, pour former de tels canaux. Le minerai présentera, d'après cela, une tendance à s'y disposer en colonnes allongées.

Telle est en effet, dans les stratifications inclinées (fig. 18), la forme des *shoots of ore*, ou coulées de minerai, des mines de Cor-

[1] Dans l'analyse attentive qu'il a faite de ces effets dans le Cornwall, M. Moissenet ajoute, avec beaucoup de prudence, que les lois qui les résument, en dérivant d'aperçus généraux si rationnels, ne peuvent cependant être prises pour des axiomes qui doivent nécessairement régir tous les districts métallifères. Il en a cité lui-même des exceptions (*Parties riches des filons*, p. 16). M. l'ingénieur des mines Lecornu énonce de même (*Annales*, 2e, XIV, 35) que le Derbyshire ne se prête pas exactement à leur application. En revanche, ces considérations se sont parfaitement adaptées aux filons aurifères de Gondo (Valais), (Burthe, *Annales*, 7e, VII, 199), ainsi que dans les observations de M. l'ingénieur en chef des mines Henry sur les filons de minerai de fer de Sommah en Algérie (Zeiller, *Annales*, 9e, IV, 508).

Digitized by Google

nouailles (¹). Lorsque deux galeries de niveau consécutives ont rencontré dans un ordre concordant des alternatives de minerai et de stérile, il y a des chances pour que cette disposition se propage à

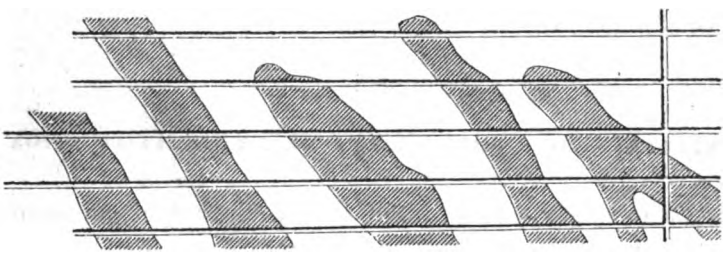


Fig. 18. — Shoots of ore.

une certaine profondeur. Dès lors une exploitation attentivement conduite peut espérer une production soutenue et avantageuse (²).

Tel est aussi, quand le terrain et le filon ont la même direction, le *course of ore*, qui est allongé suivant l'horizontale (fig. 19). Si

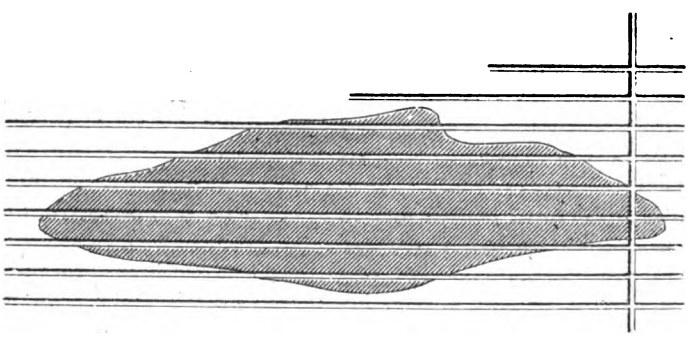


Fig. 19. — Courses of ore.

une galerie de niveau se maintient pendant longtemps sans discontinuité dans une telle *bonanza* (suivant l'expression des mineurs espagnols), il y a des chances pour que plusieurs autres niveaux rapprochés se trouvent dans les mêmes conditions en promettant à l'exploitant une récolte rapide et abondante.

Il va sans dire que cette règle est loin d'être sans exceptions, et

(¹) On trouvera d'intéressantes figures de ce genre dans l'article de M. Dowell (Stupping ore deposits, *Trans. americ. min.*, Washington meeting, February 1890).

(²) Moissenet, *Parties riches des filons*, p. 10.

Digitized by Google

qu'à la disposition longitudinale des colonnes s'adjoint souvent la forme ramassée des taches de minerais disséminées sans loi apparente, quand les communications intérieures ont manqué de régularité. Dans ce cas l'ingénieur doit se considérer perpétuellement comme à l'état de recherches systématiques, pour éclairer sa marche et s'assurer une certaine constance de production ([1]).

43 — *Recherches en dehors du filon.* — Les explorations ne se restreindront pas, du reste, au plan de la cassure principale. On suit attentivement les dérivations qui s'en détachent dans les épontes. Souvent elles y meurent à peu de distance, mais parfois aussi elles prennent de l'importance par elles-mêmes, ou vont se rattacher à quelque autre filon d'une valeur comparable à celle du premier. On doit alors s'attacher de préférence à celles de ces branches dont la direction se rapproche le plus de l'alignement de l'ensemble du filon. On peut aussi, dans le doute, préférer d'abord celle du mur. Il y a des chances pour que le toit de la fracture soit plus disloqué par les mouvements qu'il aura subis et que les veines y soient moins bien réglées.

Si, au lieu de quelques branches caractérisées, on rencontre un véritable éparpillement du filon en forme de stockwerk, il y faut voir en général un signe précurseur de sa terminaison en direction.

Cependant il peut arriver que la somme des dérivations représente largement la valeur du corps du filon qui s'est ainsi ramifié. Cela arrive surtout pour les métaux qui sont venus de l'intérieur à l'état de produits volatils, comme l'or, le mercure, l'antimoine, l'étain. Ils ont trouvé par là plus de facilité à se répandre dans les moindres fissures. Pour certaines de ces formations, la roche a été imprégnée à une grande distance, et les recherches dans l'épaisseur des parois doivent prendre encore plus d'importance.

([1]) Il est arrivé, par exemple, vers la fin du siècle dernier, pour la mine des Challanches (Oisans), que Schreiber, en grevant son budget d'un chapitre écrasant de travaux de recherches qui atteignait jusqu'à 60 pour 100 des frais d'exploitation, est arrivé ainsi à la maintenir dans une prospérité relative, tandis que ses successeurs ont abouti à la fermer en peu d'années, pour avoir voulu faire l'économie de ce chef exorbitant de dépenses. (A. Caillaux, *Tableau général des mines métalliques de France*, p. 175.)

Digitized by Google

44 — Quant à la disposition relative des richesses dans les faisceaux de filons parallèles, elle n'est pas non plus abandonnée au hasard. C'est un fait connu que, par leurs grandes lignes, les enrichissements se correspondent à peu près, en regard les uns des autres. Cela est du reste assez naturel, puisque, à de faibles distances, les conditions présentées par la stratification et les efforts généraux de fracture ne varient en général que faiblement, sauf des influences spéciales. C'est ce que les mineurs du Cornwall expriment par cette formule : *ore against ore*. Aussi un ingénieur expérimenté ne fera-t-il pas partir ses travers-bancs d'exploration des parties plates et pauvres, en vue de découvrir des gîtes parallèles. Il les branchera au contraire sur des régions redressées et minéralisées, pour se donner plus de chances de *couper riches* les gîtes parallèles, afin de mieux les reconnaître au passage.

Quand on connaît ainsi plusieurs gisements parallèles, il peut y avoir dans l'aménagement général plus d'avantages, en quittant un quartier après son épuisement, à s'attaquer aux parties riches des filons voisins qui se trouvent en regard, qu'à pousser en direction dans le même plan, en s'exposant à traverser de longs espaces stériles.

45 — Si donc enfin l'on voulait, sous les réserves déjà faites [1], résumer les traits les plus essentiels de cette longue discussion par une formule abrégée, malgré le danger de lui donner par là une forme trop concise et trop absolue, on pourrait dire qu'il faut, dans les gîtes métalliques :

1° Chercher d'abord le bon terrain, c'est-à-dire celui qui se recommande par sa dureté moyenne, et par une nature chimique bien en rapport avec les réactions qui ont dû donner naissance au gisement;

2° Parmi les diverses déviations que présente la direction, s'attacher à celles qui se rapprochent le plus de l'alignement représentant dans la localité le système de soulèvement auquel on croit pouvoir rattacher la fracture;

[1] Voy. numéros 26 et 41, deuxième note.

Digitized by Google

3° Parmi les divers plongements, choisir les plus raides;

4° Enfin, une fois dans le filon, suivre les masses minérales autant que possible dans le sens du plongement du terrain encaissant.

46 — L'importance des influences exercées sur la richesse des diverses cannelures d'un filon par leurs directions et inclinaisons, ainsi que par celles de la stratification encaissante, m'avaient paru, dans la première édition de cet ouvrage [1], mériter l'établissement des relations mathématiques qui existent entre ces éléments. J'ai suivi pour cela successivement une marche analytique et une méthode graphique. Mais je supprime ici, pour abréger, ces développements [2].

[1] Tome I, pages 51 à 67.

[2] On les trouverait également dans l'article que j'ai publié sur ce sujet. (*Annales des mines*, 8e, III, 405.)

Digitized by Google

CHAPITRE III

PASSAGE DES REJETS

—

§ 1

INDICES LOCAUX

47 — *Accidents.* — Nous avons étudié dans le chapitre précédent les circonstances qui ont provoqué la naissance des fractures de l'écorce terrestre, et amené la minéralisation de quelques-unes d'entre elles. Nous avons maintenant à examiner en détail les dérangements que les gîtes ont pu éprouver après leur formation en raison des mouvements ultérieurs, et qui deviennent souvent pour l'ingénieur la source des plus graves difficultés.

Parfois le phénomène mécanique de la rupture a consisté en un simple décollement des deux parties, qui sont restées en regard l'une de l'autre. Dans d'autres cas, au contraire, il s'est opéré un mouvement relatif du toit et du mur. A cet égard, M. Daubrée [1], en confondant tous ces types ensemble sous l'appellation générale de *lithoclases*, distingue les premiers sous le nom de *diaclases* et affecte aux autres la dénomination de *paraclases*.

Dans ce dernier cas, le mineur qui arrive devant le plan de la faille sans avoir quitté le gîte, guidé jusque-là par sa continuité, rencontre devant lui une masse absolument différente, et se trouve en présence de l'inconnu, sans savoir au premier abord par où rejoindre le prolongement de la veine. Cette circonstance a beau-

[1] *Études synthétiques de Géologie expérimentale*, p. 351

Digitized by Google

coup exercé la sagacité des anciens mineurs. On peut juger par l'inspection des travaux qu'ils ont laissés, qu'ils étaient souvent d'une grande habileté pour *passer les rejets*. Aujourd'hui la question s'éclaire de vues rationnelles, fondées sur les aperçus que nous possédons quant à la nature des causes de ces accidents. Ce sont ces lois que nous avons en ce moment à faire connaître, ainsi que les méthodes qui en dérivent, pour guider la recherche [1].

48 — La cinématique enseigne que le déplacement le plus général d'une figure plane dans son plan peut toujours être réalisé au moyen d'une simple rotation autour d'un point du plan. On observe en effet assez fréquemment que le déplacement a été accompagné d'une désorientation dans le plan de la faille; en un mot, qu'il a été rotatif. On dit alors que *le rejet s'ouvre*, et l'on arrive parfois assez facilement à en déterminer la charnière.

Mais, dans la plupart des cas, en raison de l'immense étendue qu'affectent ces phénomènes, le centre de la rotation se trouve reporté assez loin de la région occupée par les travaux pour que, dans un espace limité, le mouvement puisse être assimilé à une translation.

On sait, en second lieu, par les théories de la cinématique, qu'une translation quelconque peut toujours être décomposée, à l'aide d'un parallélogramme, en deux autres dirigées suivant deux droites arbitrairement choisies. Nous adopterons pour cette décomposition la direction et l'inclinaison de la faille, ou du *croiseur*. Dès lors, au lieu d'un accident unique, on se représentera le phénomène comme la combinaison de deux dérangements distincts, qui sont appelés le *rejet horizontal* et le *rejet en profondeur*.

Chacun de ces modes peut se rencontrer isolément; mais ils se trouvent en général associés, et leur réunion constitue une translation oblique, souvent mise en évidence par les stries des surfaces

[1] Babu, Note sur l'étude géométrique des croisements de filons. *Annales*, 8e, XII, 552. — Hœfer, Ueber Verwerfungen (*Œsterreichische Zeitschrift*, XXXIV, 1886. — *Rev. univ. de m.*, 2e, X, 149; 3e, III, 249). — Kœhler, *Die Störungen der Gänge Flötze und Lager*, Leipzig, 1886. — De Marguerie et Heim, *Die Dislocationen der Erdründe*. — Andreæ, *Eine theoretische Reflexion über die Richtung der Rheinthalspalte*.

Digitized by Google

de glissement. L'un et l'autre de ces deux rejets occasionnent un déplacement qu'il devient nécessaire de racheter par un raccordement convenable des travaux. Mais il existe entre eux sous ce rapport une très grande différence.

Le rejet horizontal, quand même il aurait reporté fort loin le prolongement du gîte, nécessiterait tout au plus, pour le rejoindre, des galeries de niveau plus ou moins longues. Ce sera une gêne et une dépense, mais non une perturbation fondamentale de l'aménagement général. Aussi ce genre d'accident est-il d'ordinaire relégué au second plan dans les préoccupations de l'exploitant, et l'on s'attache bien plus au rejet en profondeur.

Celui-ci, en effet, en modifiant les niveaux, les étages, la profondeur et l'armement des puits, présente beaucoup plus de gravité que le premier. On rencontre, à cet égard, dans la masse terrestre tous les degrés d'importance, depuis des dérangements insignifiants jusqu'à des rejets de plusieurs centaines de mètres estimés suivant la verticale.

Lorsque les travaux viennent buter dans un croiseur qui a rejeté le gîte suivant l'inclinaison, l'ingénieur est amené à se demander s'il doit monter ou descendre dans la faille, pour retrouver le prolongement du gisement. Nous pouvons indiquer dès à présent deux circonstances dans lesquelles un examen attentif permettra d'écarter immédiatement toute incertitude.

49 — *Rebroussement des feuillets.* — Parfois l'accident a eu lieu à une époque où la formation présentait encore une certaine plasticité. Il s'en est suivi un étirage des couches dans le plan de la faille, dont l'observation indique nettement de quel côté a été entraînée la partie absente. Il n'y a pas besoin, du reste, que cette inflexion s'observe sur une grande étendue. La plus petite longueur de la partie courbe, pourvu qu'elle soit nettement accusée, suffit pour décider à cet égard[1].

Il est clair, par exemple, à l'inspection de la courbure (fig. 20), que le mineur, qui arrive par le mur A de la faille, doit y descendre

[1] Cependant quelques effets analogues ont parfois été attribués à des compressions latérales. (Gruner, *Description du bassin de la Loire*, I, 94.)

Digitized by Google

pour retrouver la suite A′ de la couche à une distance qui reste d'ailleurs inconnue. Au contraire, avec la disposition de la

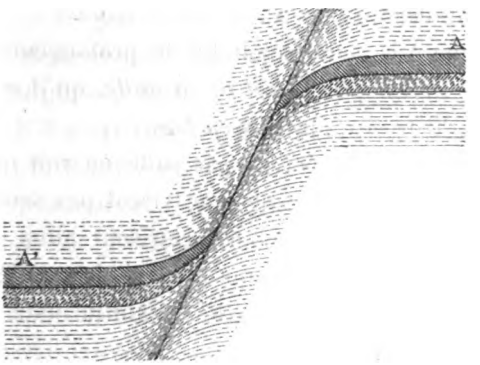


Fig. 20.

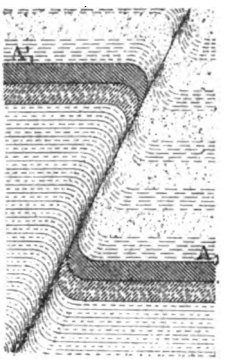


Fig. 21.

figure 21, c'est en arrivant par le toit A'_1 de la faille, que l'on doit y descendre pour rejoindre le gîte en A_1.

50 — *Ordre de stratification.* — Dans d'autres circonstances, c'est la composition minéralogique de la face opposée de la faille qui peut fournir des indices certains.

Supposons, en premier lieu, que le mineur qui arrive par A (fig. 22) trouve devant lui en B′ un banc qu'il reconnaît à coup sûr pour être le prolongement d'un autre B, déjà reconnu par les travaux antérieurs au-dessus de A, et de plus à une distance connue; ce qui renseigne plus complètement encore que dans le cas précédent. Il devient indubitable, par cela seul, que l'on retrouvera le prolongement A′ de la couche, en *descendant* d'une hauteur égale. Dans ces conditions, on dit que le mineur *arrive par le mur de la faille*

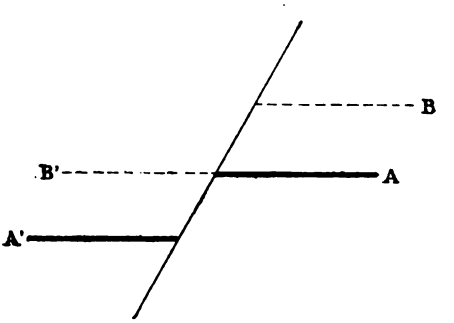


Fig. 22.

Digitized by Google

ou qu'il *a la faille sur sa tête*, et qu'il rencontre un *rejet en bas*.

Si au contraire, dans la même formation, le mineur arrive par B′, reconnaissant en face de lui en A le prolongement d'une couche qu'il sait exister au-dessous en A′, il devra *monter* d'une quantité égale à la hauteur A′B′ pour rejoindre le prolongement B de B′. On dit alors qu'il *arrive par le toit de la faille*, qu'il *a la faille sous ses pieds*, et qu'il trouve un *rejet en haut*.

C'est pourtant toujours le même rejet, et par suite on voit que ces expressions, fort claires en elles-mêmes, ne visent pas seulement le phénomène géologique, qu'elles caractérisent ainsi de deux façons opposées, mais, en même temps que lui, la manière dont l'ingénieur s'y dirige et qui motive cette variabilité dans le jugement porté.

Comme il est bon cependant d'avoir en même temps une expression qui serve à désigner ce qu'il y a d'absolu dans cette disposition, pour la différencier de la disposition contraire qui est représentée sur la figure 23, on a coutume, dans le cas actuel, de dire que *le toit de la faille est descendu sur le mur*. Ceci même demande à être entendu dans son vrai sens. On n'affirme pas par là que ce n'est pas le mur qui, par des pressions convenables, serait remonté sous le toit, d'après un mécanisme d'ailleurs moins facile à concevoir. Les repères fixes de cotes d'altitude manqueraient même pour définir de pareils mouvements absolus, et l'on n'aurait aucune manière d'être renseigné à leur égard. En outre, ils ne présentent par eux-mêmes aucune espèce d'intérêt. C'est seulement le déplacement relatif qu'il est, pour le mineur, essentiel de connaître, et l'on convient pour le caractériser, comme nous l'avons expliqué dans une autre circonstance (N° 26), de fixer par la pensée le mur, en attribuant au toit tous les mouvements quels qu'ils soient.

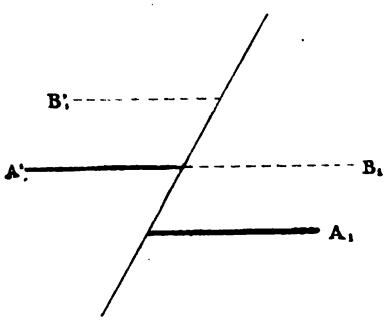


Fig. 23.

Digitized by Google

51 — Supposons, en second lieu, les conditions de la figure 23. Le mineur qui arrive par A'_1, reconnaissant B_1 pour une formation qu'il sait lui être supérieure en B'_1, doit *descendre* pour rejoindre A_1. Il *arrive par le toit de la faille* et il l'a *sous les pieds* comme dans le dernier cas, mais il rencontre maintenant un *rejet en bas*, et non plus en haut.

S'il arrive par B_1, trouvant en face de lui la couche A'_1 qu'il sait lui être inférieure en A_1, il *montera* pour retrouver B'_1. Il *arrive par le mur*, et il *a la faille sur la tête*, comme dans le premier des trois cas précédents, mais il rencontre un *rejet en haut*, et non plus en bas.

Dans les deux hypothèses encore c'est le même rejet, et si on l'envisage en lui-même, on le caractérise en disant que *le toit est remonté sur le mur*.

§ 2

RÈGLE DE SCHMIDT

52 — *Règle de Schmidt.* — Dans les deux circonstances précédentes (Nos 49, 50, 51) nous opérons à coup sûr. En l'absence de ces indices positifs, on doit se contenter de s'appuyer sur les prévisions les plus probables.

Je ferai remarquer en premier lieu que, dans le cas où l'exploitation d'un district dure déjà depuis un certain temps, et qu'on y a reconnu pour tous les rejets une même manière d'être, cela crée, en ce qui concerne le nouvel accident rencontré, une probabilité presque équivalente à une certitude [1]. On comprend en effet que, des mouvements d'ensemble ayant affecté le terrain sur une certaine étendue, la disposition reconnue en certains points a des chances d'être encore dans le voisinage la résultante du même phénomène, bien que le contraire soit à la rigueur possible sous l'influence de variations de détail.

[1] Il arrive, par exemple, dans certains districts du Gard, que tous les rejets à la fois se trouvent disposés contrairement à la règle de Schmidt, que nous allons faire connaître comme constituant, cependant, le cas le plus ordinaire.

Digitized by Google

53 — Mais supposons enfin qu'il s'agisse d'un accident sur lequel on ne possède *a priori* aucune espèce de données spéciales. On en est alors réduit à invoquer le résultat fourni par l'expérience la plus générale des mineurs. Il est formulé dans un énoncé connu sous le nom de *règle de Schmidt* [1] consistant en ce que, *pour la très grande majorité des cas, c'est le toit de la fente qui est descendu sur le mur.* C'est bien d'ailleurs (N° 27) le mode le plus naturel à concevoir, lorsque la pesanteur a eu l'action prépondérante dans ses antagonismes avec les renvois de pression.

Il résulte immédiatement de là diverses conséquences géométriques qui sont de nature à jouer un rôle dans les recherches.

En premier lieu, si la règle de Schmidt est observée, comme dans la figure 24, ou intervertie comme sur la figure 25, on voit, qu'en

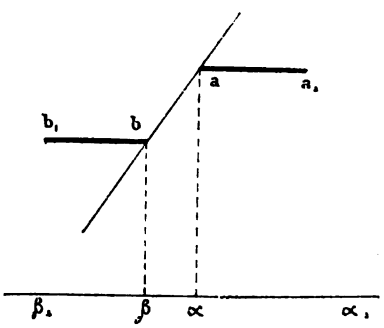


Fig. 24.

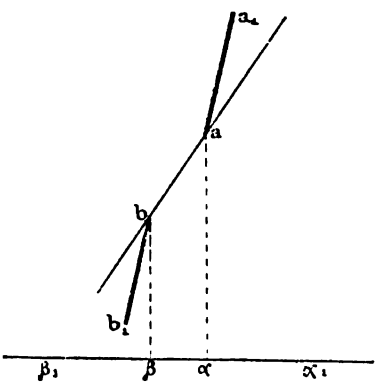


Fig. 25.

projection sur un plan horizontal, la matière utile recouvrira les espaces $\alpha\alpha_1$ et $\beta\beta_1$, mais non l'intervalle $\alpha\beta$. Il pourrait donc arriver qu'un sondage, ou le foncement d'un puits de recherche, passât dans cette *zone stérile* produite par le rejet. On serait alors conduit à affirmer l'absence du gîte, et cependant il existe.

Si, au contraire, l'accident a eu lieu contrairement à la règle de Schmidt comme sur la figure 26, ou conformément à cette règle (fig. 27), on voit qu'en projection horizontale la matière exploitable recouvre les étendues $\alpha\beta_1$, $\beta\alpha_1$, et en outre deux fois

[1] Ou de Zimmermann.

Digitized by Google

l'intervalle $\alpha\beta$. Si donc un trou de sonde se trouve percé précisément dans ce *redoublement* créé par le rejet, on pourra croire à l'existence de deux couches, tandis qu'il n'en existe qu'une seule.

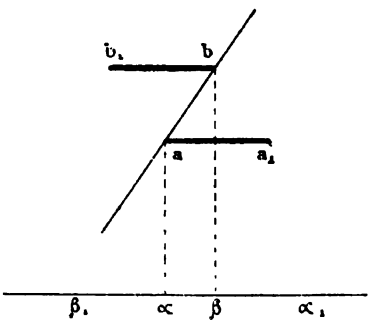


Fig. 26.

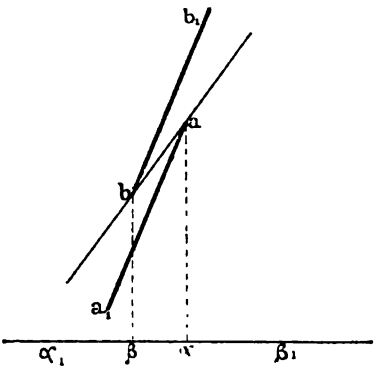


Fig. 27.

Le passage de l'un de ces cas à l'autre correspond à la situation verticale du gîte, pour laquelle les projections horizontales cessent d'exister.

54 — *Règle de l'angle obtus.* — On a quelquefois appelé la formule de Schmidt : règle de l'angle obtus. Mais cette expression doit être écartée, comme capable d'induire en erreur.

Le motif qui l'a fait introduire consiste en ce que, si la règle est observée comme sur la figure 24, quand on arrive par a_1, il faut se diriger par l'angle *obtus* a_1ab pour rejoindre le gîte b_1. De même, si les travaux se présentent du côté b_1, il faut encore prendre l'angle *obtus* b_1ba. Si, au contraire, la règle est intervertie comme sur la figure 26, les angles qu'il convient de suivre, a_1ab ou b_1ba, sont aigus; et si l'on prenait, dans ce cas les angles obtus qui en sont les suppléments, on s'égarerait dans la faille en s'éloignant du prolongement cherché au lieu de le rejoindre. On transformait d'après cela l'énoncé de Schmidt en disant que *c'est, dans la très grande majorité des cas, par l'angle obtus qu'il convient de se diriger dans la faille pour passer un rejet en inclinaison.*

Faisons remarquer avant tout que cette règle se rapporte exclusivement au rejet en profondeur, et ne concerne en rien le rejet

Digitized by Google

horizontal pour lequel il n'existe aucune relation nécessaire. Mais, même en le restreignant à son véritable domaine, cet énoncé n'en est pas moins incorrect.

Supposons en effet, pour plus de simplicité, que le gîte et le croiseur, inclinés tous les deux sur l'horizon, aient la même direction perpendiculaire au plan du tableau. Si le toit est vraiment descendu sur le mur de la faille, il pourra encore arriver (fig. 28)

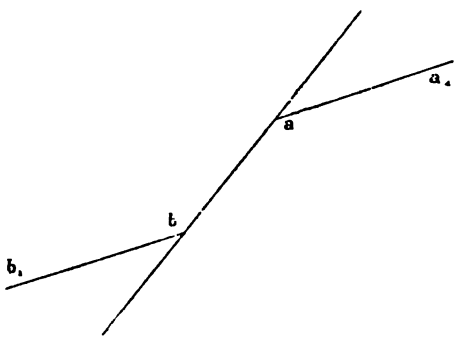


Fig. 28.

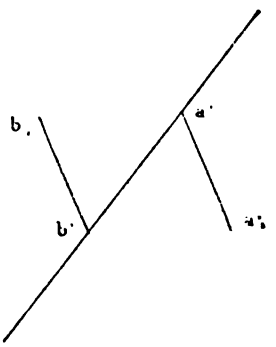


Fig. 29.

qu'il faille cheminer par les angles obtus a_1ab et b_1ba. Mais il sera de même possible (fig. 29) que l'on ait, au contraire, à prendre les angles aigus $a'_1a'b'$ et $b'_1b'a'$.

Le passage de l'un de ces types à l'autre correspond au cas où les deux plans sont rectangulaires, pour lequel la règle reste indécise, sans être encore tombée dans la fausseté.

55 — *Faux rejets.* — Dans ce domaine de la probabilité, l'on a d'abord contre soi, en suivant aveuglément la règle de Schmidt, la chance que le dérangement ait eu lieu contrairement à cette règle. Mais il faut en outre signaler certaines circonstances exceptionnelles qui seront propres à faire illusion. On les appelle *faux rejets*, et ils ne présentent, d'un véritable cran, que l'apparence.

Supposons en effet qu'une première cassure PP' (fig. 30) se soit produite sans que ses parois aient été ressoudées. Si une nouvelle tendance à la rupture vient à naître sous l'influence de forces peu différentes, il se produira encore une disjonction suivant un

Digitized by Google

plan faiblement incliné sur le précédent. Mais il pourra arriver, sans qu'il s'effectue d'ailleurs aucun glissement capable de déterminer un rejet des parois, que, le massif de droite se fendant suivant QQ_1, celui de gauche se brise suivant un plan $Q'Q_1'$, un peu différent du premier, la diaclase *se traînant* sur une certaine longueur QQ' dans le plan de la faille, qui forme une surface de moindre résis-

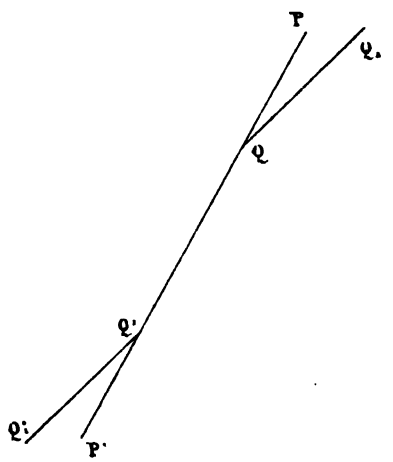


Fig. 30.

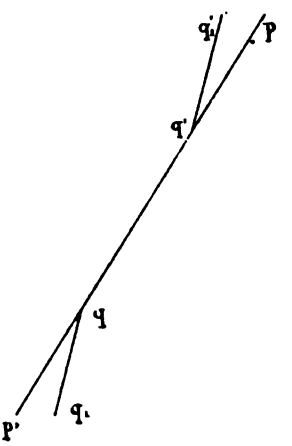


Fig. 31.

tance plus avantageuse pour la rupture que le prolongement direct.

L'observateur qui se trouve en présence de ces résultats, sans qu'aucune raison spéciale y éveille son attention, sera porté à penser que le filon $Q_1Q'_1$ est la plus ancienne des deux fentes, et qu'il a été recoupé et rejeté par le croiseur PP' à une époque postérieure. C'est, au contraire, PP' qui est le premier en date, et il n'y a eu aucun rejet dans l'ensemble du phénomène.

Ajoutons que cette fausse apparence pourra se produire, soit comme sur la figure 30, en simulant un rejet conforme à la règle de Schmidt, soit au contraire (fig. 31) de manière à faire croire à l'inversion de cette règle. L'on n'aura plus d'ailleurs entre ces deux cas la disproportion de probabilités qui était inhérente à un genre de mouvements tout à fait étranger au phénomène actuel.

Digitized by Google

56 — Une erreur d'un autre genre peut se produire, quand *le filon est intercepté*. On entend par là (N° 27), qu'après une première fracture non ressoudée, il s'est produit une seconde fente qui a été minéralisée en donnant naissance à un filon. Seulement, les deux massifs n'ayant plus de solidarité, et les forces se trouvant vers les limites de leur sphère d'efficacité relative à la ténacité de la roche, il est arrivé que, l'une de ces masses s'étant laissée rompre, la seconde a pu résister et rester intacte.

L'ingénieur, que rien n'amène à soupçonner cette circonstance, ne trouvant plus en face de lui la suite de la fracture qu'il suivait pas à pas, croira encore à un rejet, et fera de vains efforts pour retrouver un prolongement qui n'existe nulle part.

57 — Je citerai enfin une troisième circonstance qui est de nature à donner lieu à des interprétations inexactes. C'est le principe des *réouvertures*.

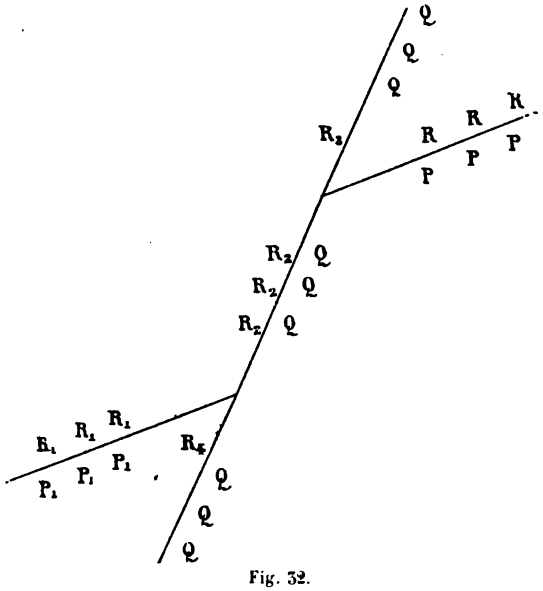


Fig. 32.

Supposons qu'une première cassure s'effectue suivant un plan, alors unique, bien que représenté en deux parties PP_1 sur la figure 32 qui retrace l'état définitif. Une injection de matière *stérile* en a

Digitized by Google

ensuite ressoudé les deux parois. Ultérieurement, une faille Q vient à se produire, avec rejet du filon stérile de PP en P_1P_1. Enfin de nouvelles tensions, plus rapprochées des anciennes conditions que de ces dernières, venant à se reproduire, elles ont pour résultat de décoller la soudure imparfaite, et d'opérer une réouverture de la première fracture. Ses deux parties R et R_1 ne se rejoignant plus directement, la disjonction se traîne entre les deux dans la faille Q suivant R_2. En outre, aux changements de direction, il se produit quelques éclatements secondaires à de faibles distances de PP en R_3, et de P_1P_1 en R_4. La minéralisation qui survient alors imprègne tout cet ensemble $RR_1R_2R_3R_4$, et le transforme en un filon exploitable.

En présence de semblables dispositions, on eût autrefois admis cette explication inexacte : 1° une fracture P suivant un plan unique, avec minéralisation R ; 2° une seconde cassure Q, rejetant brusquement ce filon du prolongement de PR en P_1R_1 ; 3° des phénomènes lents de transports électro-chimiques amenant la matière utile de R et de R_1 dans l'intervalle R_2, ainsi que dans les portions voisines R_3 et R_4 du croiseur.

On voit combien le véritable mécanisme a été différent, et plus simple à concevoir. Il convient de remarquer d'ailleurs que, à l'inverse de ce qui a lieu dans les deux cas précédents, il y a eu véritablement ici un rejet, et que par conséquent la règle de Schmidt gardera pour son interprétation toute sa valeur.

§ 3

MÉTHODE GRAPHIQUE

58 — Les indications précédentes permettent seulement de se renseigner sur le sens du rejet en inclinaison, sans rien préjuger du rejet horizontal. De plus nous avons raisonné comme si l'exploitant, pour pousser ses galeries, n'avait d'autre alternative que de monter ou de descendre suivant la ligne de plus grande pente de la faille.

Digitized by Google

Il s'en faut de beaucoup qu'il en soit ainsi. On peut, sans quitter la faille, y suivre bien des chemins différents pour rejoindre le gite. Il peut en outre y avoir avantage, ou même nécessité, à quitter au plus vite cette faille, si elle est dangereuse et capable de donner des éboulements, de l'eau, des gaz, etc. Il reste donc une discussion à faire entre les directions et les longueurs comparatives des divers cheminements que l'on peut exécuter, en vue de choisir parmi eux le plus favorable.

Il existe à cet égard deux procédés distincts : une marche graphique, ou la méthode trigonométrique.

59 — Représentons en PQ (fig. 33) la trace de la faille sur le plan horizontal. Pp et Qq marqueront les traces horizontales, parallèles entre elles, des deux portions du gisement, limitées l'une et l'autre à cette faille sur chacune de ses deux faces : PQ représente l'étendue du rejet horizontal. C'est une inconnue, que nous figurons sur l'épure par une longueur arbitraire, à laquelle toutes les autres resteront évidemment proportionnelles. On n'a en effet à déterminer ici que des angles et des rapports de longueurs. En arrivant par la galerie de direction pP à la rencontre de la faille, on peut mesurer l'inclinaison α du filon, celle β de la faille, et l'angle γ de leurs deux directions. Nous pouvons d'après cela construire l'intersection, ou *crochon*, de ces deux plans.

A cet effet, faisons une coupe par le plan vertical pp' mené suivant la ligne de plus grande pente du filon, et rabattons cette ligne, ainsi que ce plan, autour de pp' comme charnière. Elle viendra en pp'', sous l'angle $p''pp' = \alpha$. Traçons en outre arbitrairement $p'p''$ parallèle à Pp; ce sera la projection horizontale de la trace du filon sur un plan horizontal mené à une profondeur $p'p''$ au-dessous du plan de projection. Portons cette même longueur en $rr''' = p'p''$. Élevons $r'''r''$ perpendiculaire à PQ jusqu'à la rencontre de la droite rr'' qui fait avec rr', également perpendiculaire à PQ, l'angle $r'rr'' = \beta$. Enfin, par r'', traçons la droite $r''r'$ parallèle à PQ. Le triangle $rr'r''$ nous représentera de même le rabattement, autour de la charnière rr', de la coupe verticale menée en r perpendiculairement à la faille suivant sa ligne de

Digitized by Google

plus grande pente; et comme $r'r'' = rr''' = p'p''$, la droite $r'r''$ sera la trace de la faille sur le même plan horizontal auxiliaire. Les deux droites $p'p''$ et $r'r''$ qui se coupent en M appartenant dans ce

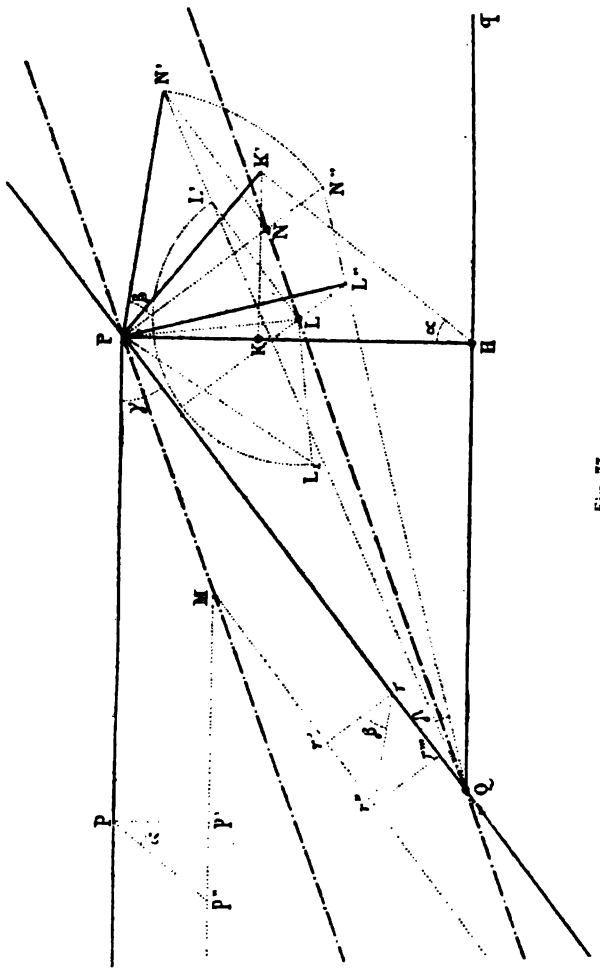


Fig. 33.

même plan, l'une au filon, l'autre à la faille, nous obtenons en M un point de l'intersection de ces deux plans, et PM représente la projection horizontale de cette intersection.

Comme, du reste, la seconde partie du filon forme en Qq un plan parallèle, son intersection par le plan de la faille sera elle-

Digitized by Google

même parallèle à la précédente, et aura pour projection la droite QN parallèle à PM.

Il est facile de voir que la figure a été ici disposée conformément à la règle de Schmidt, que nous devons admettre *a priori* pour la disposition inconnue du rejet. En effet, P*r* représentant une horizontale supérieure, et M*r'* une horizontale inférieure de la faille, le pendage de celle-ci est de *r* vers *r'*. En P*p* on a donc la faille sous les pieds, et en Q*q* on l'a sur la tête. La partie du filon limitée à PM se trouve ainsi dans le toit de la faille, et celle qui se termine sur QN est située dans son mur. Or, si nous laissons par la pensée, suivant la convention établie ci-dessus (N° 50), le mur immobile, et que nous remettions en mouvement le toit de la faille, pour ressouder les deux portions du filon en ramenant PM sur QN, nous aurons à faire mouvoir P suivant la ligne de pente projetée en PN perpendiculairement à PQ, *en remontant*, puisque le pendage de la faille est de *r* vers *r'*. Donc, pour opérer le rejet, le toit est *descendu* sur le mur, conformément à la règle de Schmidt.

Les éléments du cran étant ainsi représentés, nous pouvons maintenant essayer sur la figure 33 toutes les sortes de cheminement qu'il paraîtra intéressant d'étudier. Je me bornerai ici à envisager les cinq modes suivants, qui se présentent les premiers à la pensée.

60 — Supposons d'abord que l'on veuille cheminer sans quitter la faille. Une première manière consiste à s'y mouvoir de niveau, en restant dans le plan horizontal de la galerie d'arrivée *p*P. Cet ouvrage sera représenté en vraie grandeur par la longueur arbitraire PQ [1].

On peut, en second lieu, cheminer suivant la plus grande pente de la faille. La projection de l'ouvrage sera PN, perpendiculaire à la trace horizontale PQ. Cette galerie rencontre en N la trace QN du filon sur le plan de la faille. Pour en obtenir la vraie grandeur,

[1] Sur la figure 33, on a marqué par des traits pleins la *vraie longueur* des ouvrages PQ, PN', PL'', PH, PK', et par des points ronds Q, N, L, H, K, les extrémités de leurs projections horizontales, c'est-à-dire la projection du point où ils rejoignent la masse rejetée.

Digitized by Google

rabattons latéralement autour de PN le triangle rectangle déterminé par ce plan vertical. Il suffira dans ce but de reproduire en NPN′ l'angle β d'inclinaison de la faille, jusqu'à la rencontre de la verticale NN′ perpendiculaire à PN. L'hypoténuse PN′ fournira la vraie longueur du montage.

On peut enfin chercher à se mouvoir dans la faille par le plus court chemin. A cet effet, nous commencerons par rabattre sur le plan horizontal celui de cette faille autour de sa trace PQ. Dans ce mouvement, le point N′, projeté en N, décrit un cercle projeté sur PN, et se rabat en N″, à une distance de la charnière PN″ = PN′. On aura ainsi en QN″ le rabattement de l'intersection de la faille et de la partie rejetée du filon. Si donc, du point P, on abaisse sur cette intersection la perpendiculaire PL″, elle fera connaître la voie la plus courte pour atteindre ce filon en restant dans la faille. Relevons maintenant le plan de cette dernière; le point L″ décrira un cercle projeté sur la perpendiculaire L″L abaissée de L″ sur la charnière PQ, et se replacera en L sur la projection QN de QN″ relevée.

Il reste à connaître l'inclinaison de cette *galerie en demi-pente*. Concevons à cet effet le triangle rectangle qu'elle forme avec sa projection PL, et rabattons-le autour de PL comme charnière, en LPL_1. Il suffira pour cela de connaître la hauteur LL_1 de L″ au-dessus de L, après son relèvement. Or cette altitude forme évidemment, avec celle NN′ de N″ au-dessus de N, une quatrième proportionnelle dont les deux autres termes sont QN et QL. Nous la construirons au moyen de la droite LL′ menée parallèlement à NN′, et fournissant les triangles semblables QLL′, QNN′. Il suffit ensuite de ramener LL′ en LL_1, au moyen d'un arc de cercle; L_1PL sera l'angle cherché.

Si maintenant on abandonne le plan de la faille pour se mouvoir en plein massif, on peut d'abord se proposer de cheminer horizontalement par le plus court. Cette voie sera évidemment représentée en vraie grandeur par la perpendiculaire PH, abaissée sur la trace Qq du filon. PH fournira le minimum des chemins horizontaux, de même que PL″ formait le minimum des voies tracées dans la faille.

On peut enfin chercher le *minimum minimorum*, qui sera donné par la perpendiculaire abaissée de P sur le plan rejeté. D'après le

Digitized by Google

théorème des trois perpendiculaires, si, du pied inconnu K′ de cette perpendiculaire dans l'espace, nous en abaissions une seconde K′H dans le plan rejeté sur sa trace Qq, en joignant P au pied H de cette dernière perpendiculaire, PH serait elle-même normale sur cette trace Qq. D'après cela, ayant déjà mené tout à l'heure PH perpendiculaire sur Qq, si nous rabattons autour de cette charnière le triangle rectangle qui a pour angle $PHK' = \alpha$, inclinaison connue du filon sur le plan horizontal, HK′ sera le rabattement de l'intersection du filon par le plan auxiliaire PH, et, en y abaissant la perpendiculaire PK′, nous aurons le chemin minimum absolu. Quant à son extrémité, elle se projette au point K, que nous obtenons en relevant ce plan suivant K′K, perpendiculaire à la charnière.

Ici se place une remarque essentielle. Il pourra arriver que cette solution doive être rejetée, si le point K tombe dans la région où se projette la partie virtuelle du plan Qq, et non dans la portion de ce plan minéralisée par le lambeau du filon qu'il renferme. En effet, dans le premier cas, aucun caractère minéralogique ne viendrait avertir le mineur qu'il traverse le plan cherché. Il y aura donc à faire cet examen dans chaque cas. C'est précisément ce qui arrive avec la figure actuelle, car le point K tombe au delà de QN, hors de la région dans laquelle se trouve la galerie Qq qui est pratiquée en plein filon rejeté.

§ 4

MÉTHODE TRIGONOMÉTRIQUE

61 — Les renseignements que nous a fournis l'épure précédente peuvent également se déduire du calcul.

Envisageons à cet effet (fig. 33) le trièdre formé autour du point P, par le plan horizontal, celui du filon, et celui de la faille. Reproduisons-le à part sur la figure 34, et décrivons une sphère autour de son sommet avec l'unité de longueur pour rayon. Elle coupera les faces du trièdre suivant les côtés d'un triangle sphérique ABC, dont nous connaissons les trois éléments :

$$A = \alpha, \qquad C = \beta, \qquad b = \gamma,$$

Digitized by Google

c'est-à-dire l'angle dièdre α du filon et du plan horizontal, celui β de la faille et de ce même plan horizontal, et enfin l'angle γ que comprennent entre elles les directions des deux plans inclinés.

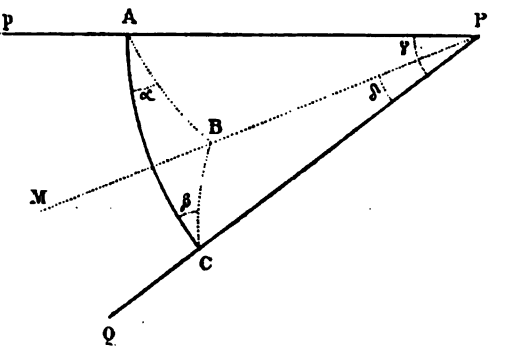


Fig. 34.

Nous commencerons par en déduire l'inconnue :

$$a = \delta,$$

qui représente l'angle compris dans le plan de la faille entre ses deux intersections par le plan horizontal et celui du filon. Nous avons à cet égard la relation connue :

$$\text{cotang } a \sin b - \text{cotang } A \sin C = \cos b \cos C.$$

c'est-à-dire :

$$\text{cotang } \delta \sin \gamma - \text{cotang } \alpha \sin \beta = \cos \gamma \cos \beta,$$

d'où l'on déduit :

$$\text{cotang } \delta = \frac{\text{cotang } \alpha \sin \beta + \cos \gamma \cos \beta}{\sin \gamma}.$$

Pour rendre cette expression calculable par logarithmes, on la mettra sous la forme :

$$\text{cotang } \delta = \frac{\text{cotang } \alpha}{\sin \gamma} (\sin \beta + \text{tang } \alpha \cos \beta \cos \gamma).$$

En prenant comme angle auxiliaire :

$$(1) \qquad \text{tang } \varphi = \text{tang } \alpha \cos \gamma.$$

Digitized by Google

nous pourrons écrire :

$$\text{cotang}\,\delta = \frac{\text{cotang}\,\alpha}{\sin\gamma\cos\varphi}(\sin\beta\cos\varphi + \cos\beta\sin\varphi),$$

et enfin :

$$(2) \qquad \text{cotang}\,\delta = \frac{\sin(\beta+\varphi)}{\sin\gamma\cos\varphi\,\text{tang}\,\alpha}.$$

Les équations (1) et (2) feront ainsi connaitre δ, par l'intermédiaire de l'angle φ, en fonction de α, β, γ.

Cela posé, si l'on prend pour unité (fig. 33) le chemin horizontal dans la faille :

$$PQ = 1,$$

on aura :

1° Pour le montage minimum dans la faille, d'après le triangle rectangle PL″Q :

$$PL'' = PQ \,.\, \sin PQL'' = \sin\delta;$$

2° Pour le chemin en inclinaison dans la faille, par le triangle rectangle PL″N″ :

$$PN' = PN'' = \frac{PL''}{\cos L''PN''} = \frac{\sin\delta}{\cos\delta} = \text{tang}\,\delta;$$

3° Pour la galerie horizontale minima, dans le triangle rectangle PHQ :

$$PH = PQ \sin PQH = \sin\gamma;$$

4° Enfin, pour le chemin minimum absolu, par le triangle rectangle PK′H :

$$PK' = PH \sin PHK' = \sin\gamma \sin\alpha.$$

Digitized by Google

CHAPITRE IV

PROCÉDÉ DU SONDAGE

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS

62 — Nous avons distingué dans la recherche des gîtes minéraux deux cas fondamentaux, selon que la masse affleure au jour, ou que, complètement dissimulée sous des terrains de recouvrement, elle ne peut être atteinte que par le sondage. Nous consacrerons le présent chapitre à la description de cette opération envisagée en elle-même, en réservant pour le chapitre suivant l'étude de ses nombreuses applications [1].

Le problème consiste à pratiquer dans le sol un *trou de sonde*, affectant la forme d'un cylindre vertical de révolution. Il se remplira ordinairement d'eau [2]; mais l'on ne doit voir là qu'une circonstance favorable pour plusieurs motifs. Ce liquide en effet

[1] Degousée et Laurent, *Guide du sondeur*, 1861. — Lippmann, *L'art du sondage. Progrès et résultats.* — Lippmann, *Petit traité du sondage.* — Arrault, *Outils et procédés du sondage*, 1889. — Sondage de mines, *CRM*, septembre 1879, 208. — Habets, Sondages, *Rev. univ. d. m.*, 2e, VIII, 265. — Lecacheux, Appareil de sondage de Commentry, *Bull. min.*, 2e, IX, 337. — Sarran, Sondages du Gard, *Bull. min.*, 2e, IX, 453. — Procédé de sondage Raveaud, *CRM*, 1890, 241. — Syroczinski, Sondage canadien. (*Bull. min.*, 3e, III, 1409. — *CRM*, 1888, 98.) — Leproux, Notes sur l'industrie minière aux États-Unis, *Bull. min.*, 3e, VIII, 52. — Kind, *Anleitung zum Abteufen der Bohrlöcher*, 1842. — *Techlenburg*, *Handbuch der Tiefbohrkunde*, 1866. — Köhler, *Handbuch der Ingenieurwissenschaften.* Die Baumaschinen, 1885. — Perreau, *L'arte della sonda*, 1885.

[2] On a cependant rencontré des exemples de sondage à sec.

Digitized by Google

rafraîchit les outils, que le choc tendrait à échauffer en rendant les tranchants plus faciles à émousser. Il délaye la roche quand la nature de cette dernière s'y prête, ce qui vient en aide aux moyens d'attaque. Il transforme les matières broyées en une sorte de bouillie liquide, plus facile à recueillir dans la cloche de curage. Il allège, d'après le principe d'Archimède, le poids des tiges. Enfin il fournit un point d'appui pour l'emploi des parachutes, en cas d'accident.

63 — Le diamètre du trou de sonde varie entre des limites assez étendues. On employait autrefois des outils très étroits, sous prétexte d'économiser la désagrégation. Mais c'était un faux point de vue, car on augmentait ainsi les chances d'obstruction, en diminuant d'autre part les ressources qu'une plus large section peut offrir pour réparer les accidents, qui sont des causes de grandes dépenses et parfois de l'abandon de l'opération. On descend rarement aujourd'hui[1] au-dessous de $0^m,20$ ou $0^m,25$. Un grand nombre de forages atteignent $1^m,00$. Les puits artésiens se pratiquent même sur des diamètres de plus en plus notables, que l'on a portés jusqu'à $1^m,80$. Enfin le procédé du sondage a été étendu de la manière la plus remarquable au fonçage direct des puits de mines (N° 370). Dans ce cas, le diamètre qui se tient presque toujours entre $3^m,00$ et $4^m,00$ a été poussé, très exceptionnellement à la vérité, jusqu'à $5^m,00$.

Quant à la hauteur, elle peut dans certains cas rester insignifiante, comme pour la sonde du tourbier, celle des minerais de fer de superficie, les puits instantanés[2]. On rencontre ensuite tous les degrés de profondeur, jusqu'à une limite que les progrès de l'art du sondeur ont beaucoup reculée. Je citerai comme chiffre extrême le sondage de Sperenberg[3], situé à quarante kilomètres au sud de Berlin. A 80 mètres, la sonde est entrée dans le sel pur et ne l'a plus quitté jusqu'à 1272 mètres, profondeur à laquelle on a arrêté arbitrairement l'opération, sans que rien indiquât

(1) Sauf dans le procédé du sondage au diamant (N° 99).
(2) Voy. n° 91.
(3) Voisin, *Annales*, 7e, V, 51.

Digitized by Google

encore la fin du gisement. Avec la méthode spéciale du sondage au diamant, la progression de la profondeur a été d'une incroyable rapidité [1].

64 — La question du sondage est des plus complexes, et pour mettre de l'ordre dans sa description nous y établirons les divisions suivantes. Dans l'ensemble de l'*équipage de sonde*, nous distinguerons d'abord, sous le nom d'*engin extérieur*, tout ce qui se trouve au-dessus du sol; la partie qui s'enfonce dans le sein de la terre formant la *sonde* proprement dite. Dans celle-ci, nous envisagerons séparément la *tige* et l'*outil*. La tige comprend elle-même trois parties : la *tête* qui la met en relation avec l'engin extérieur, les *rallonges* qui forment toute sa hauteur, enfin le *joint à chute libre* qui l'assemble aux outils. Quant à ces derniers, ils sont en quelque sorte innombrables. Nous les rangerons en cinq catégories, relatives à l'*attaque*, au *curage*, au *tubage*, aux *accidents*, et aux *recherches*.

§ 2

ENGIN EXTERIEUR

65 — *Chevalement.* — Il faut avant tout se procurer un point d'appui élevé au-dessus du sol [2], qui permette de sortir la tige sur une grande longueur, afin de diminuer autant que possible le nombre d'opérations nécessaires pour sa segmentation. On emploie à cet effet un *chevalement* en charpente (fig. 35 et 36), analogue à celui des puits d'extraction dont nous nous occuperons plus tard. A ce chevalement se rattachent les constructions et les toitures destinées à abriter les appareils, les bureaux, les logements. L'importance de cet ensemble varie naturellement beaucoup avec la profondeur et la section que l'on compte donner au trou de sonde.

A la hauteur du chevalement au-dessus du sol vient s'ajouter,

[1] Voy. n° 90, note 3.

[2] 17 mètres au forage artésien de La Chapelle, à Paris; 26 mètres pour le sondage au diamant de Neuville (Allier).

Digitized by Google

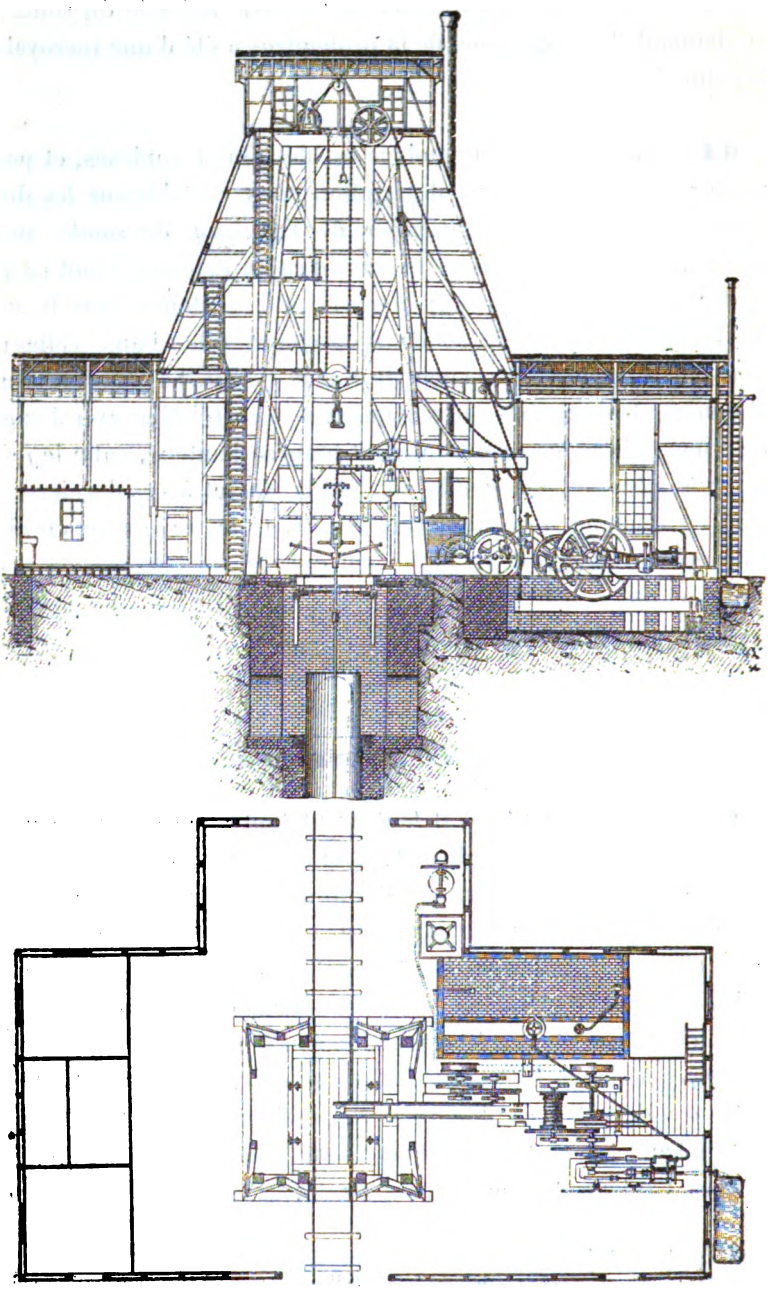


Fig. 35 et 36. — Chevalement de sondage (élévation et plan)

Digitized by Google

pour déterminer la longueur des rallonges de la tige, une certaine profondeur en contre-bas. On a soin en effet de foncer dès le début, sur une faible hauteur, un puits concentrique au trou de sonde, pour traverser les terrains de surface qui ont en général peu de consistance. On y établit, à un niveau un peu inférieur, un plancher de manœuvre formé de madriers mobiles. Au-dessous de ce dernier, et sans aucune solidarité avec lui, pour éviter les ébranlements, se trouve un tuyau, que l'on a soin avant tout de dresser suivant la verticale avec la plus grande précision. Ce tube, qui présente exactement le diamètre adopté pour le forage, est destiné à prévenir toute déviation dès le début, en guidant convenablement l'instrument. Son orifice est muni d'un couvercle, soigneusement fermé à clef dans les intervalles de chômage. Pendant les manœuvres, on se contente de le recouvrir de deux planches, échancrées de manière à permettre seulement le passage de la tige, pour prévenir la chute d'objets quelconques qui pourraient devenir la source des plus grandes difficultés (N° 98).

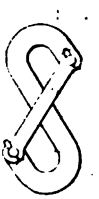


Fig. 37.
S de suspension.

Au sommet de la charpente se trouvent placées deux poulies, ou *molettes*, sur lesquelles passent des câbles plats, analogues à ceux que l'on emploie pour l'extraction des minerais, ou des chaînes de fer. Ces chaînes pendent verticalement au-dessus du trou, et sont terminées chacune (fig. 37) par un S de suspension [1]. A l'autre extrémité, elles vont s'enrouler sur le *treuil de manœuvre* dans deux sens opposés, de telle sorte que, quand l'une monte pour enlever la tige, le second crochet descende pour être prêt à la ressaisir au niveau du sol, en permettant ainsi une nouvelle ascension.

66 — *Sortie et rentrée de la sonde.* — La sortie de la sonde s'opère de la manière suivante. On adapte à chacune des chaînes

[1] Dans la sonde Travanet, on a employé de préférence un encliquetage Saladin, fondé sur l'arc-boutement par frottement et permettant de pincer la tige en un quelconque de ses points (*Bull. min.*, 2e, IX, 370). Cet équipage très portatif a rendu de grands services dans les minières du Cher, que l'on avait besoin de cribler d'un grand nombre de trous rapprochés.

Digitized by Google

un *pied-de-bœuf*. C'est un organe fourchu (fig. 38), ou symétrique (fig. 39), à l'aide duquel on soutient la tige au-dessous de la partie renflée de l'*emmanchement* (fig. 46), qui termine chaque rallonge à ses extrémités et sert à les assembler entre elles.

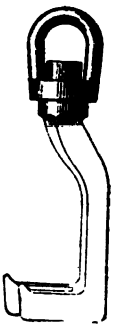


Fig. 38.
Pied-de-bœuf.

Le corps de celle-ci a un calibre qui lui permet de passer entre les deux branches du pied-de-bœuf: mais l'emmanchement ne peut traverser de haut en bas cet intervalle, et il y reste suspendu. En agissant alors sur les chaînes, on enlève la tige, de manière à la sortir de toute la longueur d'une rallonge. On pose à plat sur le sol la *clef de retenue* (fig. 40) au-dessous du cran de l'emmanchement de la tige suivante, et l'on redescend tout le système de manière à le laisser porter sur cette clef. Puis on désassemble la rallonge supérieure, et on la dépose, en l'appuyant debout contre la charpente, afin de pouvoir plus tard l'y reprendre facilement. Le second pied-de-bœuf, qui est redescendu pendant cette ascension, saisit alors la tige suivante, et l'on procède à un nouvel enlevage.

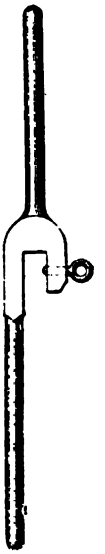


Fig. 40.
Clef de retenue.

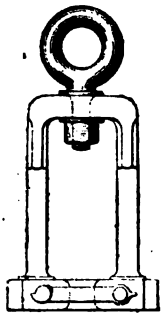


Fig. 39.
Pied-de-bœuf symétrique.

Quand il s'agit au contraire de rentrer la sonde, l'opération se fait d'une manière inverse. La partie déjà introduite reposant sur la clef de retenue, on lui adapte une rallonge, que l'on assemble sur le sommet de la dernière. On saisit cette nouvelle tige avec le pied-de-bœuf au-dessous de son emmanchement supérieur, en soulevant légèrement pour ôter la clef de retenue, et on laisse filer la sonde d'une longueur de tige. On a soin d'ailleurs de replacer vers la fin la clef de retenue, afin de soutenir la rallonge par son renflement supérieur.

67 — *Attaque et curage*. — Lorsque le système est arrivé au

Digitized by Google

fond, l'on procède aux opérations fondamentales de l'avancement, qui sont au nombre de deux : l'*attaque* et le *curage*.

L'attaque peut elle-même s'effectuer suivant deux modes distincts : le *battage* et le *rodage*. Examinons successivement ces trois manœuvres.

Pour opérer par rodage, il s'agit d'imprimer à la tige un mouvement de rotation sur elle-même. A cet effet, on passe à travers un œillet qui est ménagé dans la tête de sonde, une barre horizontale

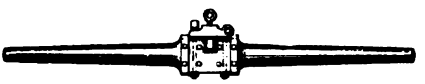


Fig. 41. — Manche de manœuvre.

appelée *manche de manœuvre* ou *manivelle* (fig. 41), sur laquelle agissent les hommes comme pour virer au cabestan

Le battage exige que l'on soulève la tige d'une certaine hauteur, formant la *levée*, pour la laisser ensuite retomber au fond par son poids. On se sert à cet effet du *levier de battage*, appelé aussi *levier à secteur*, ou *bascule* (fig. 42). M. John Paton a employé pour ce relevage un embrayage à rouleaux de friction. On a soin, pendant le battage, de dévier progressivement le plan méridien à l'aide du manche de manœuvre, de $\frac{1}{6}$ à $\frac{1}{10}$ de tour à chaque coup, afin d'éviter que l'outil, en rentrant plusieurs fois dans la même entaille, ne vienne à s'y coincer.

Le curage s'effectue à l'aide de récipients que nous décrirons quand il en sera temps. On les fait *danser* verticalement en *sonnant* avec la tige, et produisant ainsi un jeu de soupapes qui sera expliqué plus loin. Quand on juge que la cloche est remplie, on l'enlève au jour, en démontant successivement la tige comme pour la sortie d'un outil d'attaque. Mais on a aussi la ressource plus simple de substituer à cette tige, pour la descente du récipient, un câble en fils de fer enroulé sur un tambour spécial : le *treuil de curage*. On fait passer ce câble sur une poulie, portée par un petit chariot que l'on amène sur des rails placés à une hauteur convenable, jusqu'à l'aplomb du trou. On y suspend la cloche, qu'on laisse couler au fond par le déroulement du câble. On sonne jus

Digitized by Google

qu'à ce qu'elle soit remplie, et on la remonte de même, en enroulant le câble par une rotation inverse du treuil.

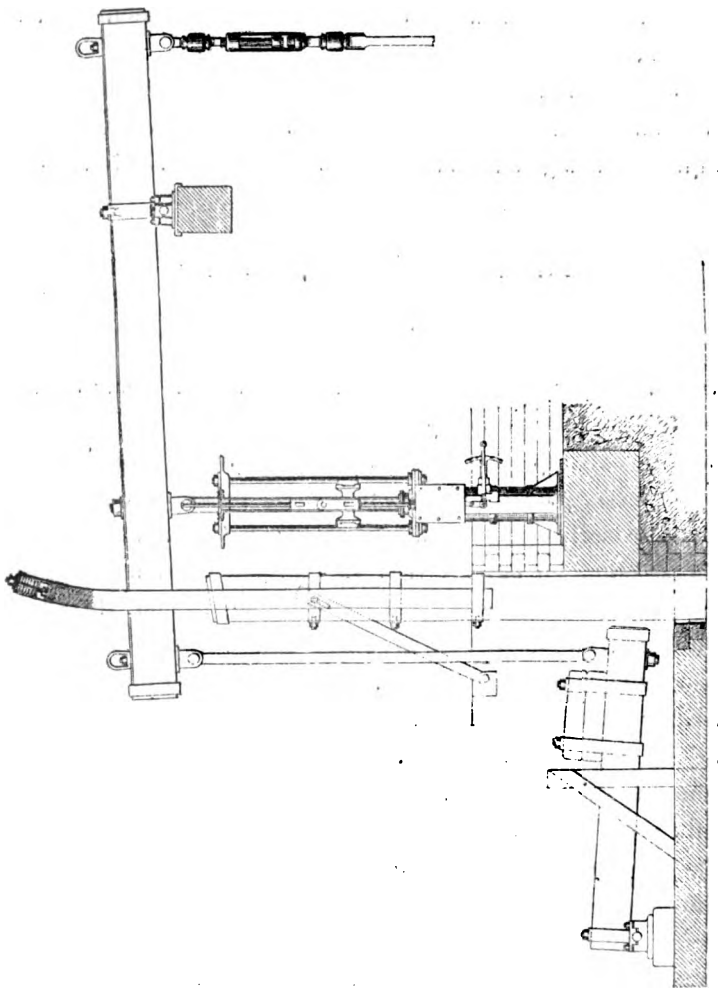


Fig. 12. — Levier de battage.

68 — *Force motrice.* — Pour ces diverses opérations, une force motrice est nécessaire. Aux faibles profondeurs, on se contentera de celle des ouvriers, avec une simple chèvre en guise de chevalement. L'action de l'homme a même suffi seule à Sperenberg jusqu'à 300 mètres. Son intervention reste d'ailleurs nécessaire à toutes

Digitized by Google

les hauteurs, pour la rotation du manche de manœuvre. Dans les enlevages, les hommes agissent au treuil ou au cabestan. Pour le battage, ils se servent de la sonnette à tiraude et à déclic, usitée dans l'enfoncement des pilotis.

Lorsque la profondeur vient à augmenter au delà d'une certaine limite, on se trouverait conduit à employer un trop grand nombre d'hommes. Leur agglomération serait à elle seule une cause de confusion très fâcheuse, avant même de devenir matériellement impraticable. Pour ce motif il devient alors nécessaire, si l'on croit pouvoir éviter l'intervention de la vapeur, de recourir à l'emploi des chevaux au manège[1].

69 — Toutefois la vraie solution consiste ordinairement dans l'application de la force de la vapeur. Avec un sondage de peu d'importance, il suffira souvent d'amener à pied d'œuvre une locomobile. Mais, la plupart du temps, il y aura lieu d'établir une machine fixe.

En ce qui concerne le battage, on aura un cylindre spécial, semblable à celui du marteau-pilon, car il s'agit d'une fonction analogue. Pour l'enroulement des câbles de suspension, l'on emploie une machine calquée sur les moteurs d'extraction, dont nous nous occuperons plus tard et qui sont destinés à un fonctionnement tout semblable. On doit lui adjoindre un frein puissant afin d'obvier aux accidents, et un embrayage pour pouvoir la rendre indépendante à volonté. Sous ce dernier rapport, la connexion par courroies sera préférable à l'emploi des engrenages, car elle substitue le glissement à la rupture en cas d'effort excessif, comme il s'en présente par exemple dans les manœuvres exceptionnelles destinées à remédier à un dérangement.

On peut du reste diminuer l'intensité des efforts dynamiques à réclamer du piston à vapeur, en interposant des moufles dans la commande des chaînes. On en sera quitte pour donner un plus grand nombre de coups par minute. Quant à la fatigue statique que supporte transversalement l'axe des molettes, comme ces der-

[1] La sonde Travanet a été mue par des ânes jusqu'à 60 mètres de profondeur. (Lecacheux, *Bull. min.*, 2e, IX, 370.)

Digitized by Google

nières sont sollicitées par les tensions sensiblement égales des deux brins, que nous considérerons pour plus de simplicité comme parallèles, il faudra compter pour ce total sur le double du poids de la sonde, en y ajoutant encore un appoint plus ou moins important en raison des efforts additionnels en cas d'accident.

§ 3

TIGE DE SONDE

70 — *Tête de sonde.* — La tige de sonde se divise, comme nous l'avons dit (N° 64), en trois parties : la tête, les rallonges, et le joint à chute libre.

La *tête de sonde* (fig. 43) est formée d'un étrier qui sert à la suspendre. Un axe libre permet à ce dernier de conserver son orientation dans l'espace, pendant que la tige est appelée à tourner sur elle-même. Un trou rond, ou deux semblables trous pratiqués dans deux directions rectangulaires, permettent de passer les manches de manœuvre qui servent à déterminer cette rotation.

Fig. 43.
Tête de sonde simple.

Parfois on désire, pour la facilité des dispositions extérieures, que l'étrier d'amarrage garde toujours les mêmes niveaux extrêmes pendant le battage. Il faut alors, puisque celui du fond s'abaisse progressivement en raison de l'avancement, que la tête devienne extensible. C'est ce que l'on réalise (fig. 44) au moyen d'une vis que l'on tourne peu à peu dans son écrou. Un index gradué sert à mesurer avec précision l'appoint de la profondeur, dont la partie principale s'évalue d'après le nombre

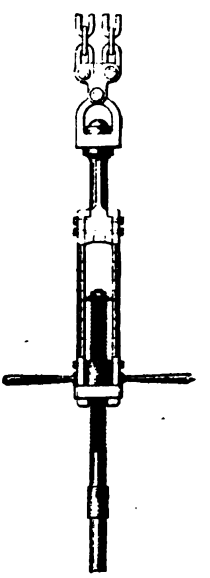


Fig. 44.
Tête de sonde à vis.

Digitized by Google

de rallonges que l'on a introduites, et dont chacune représente une longueur connue.

71 — *Rallonges.* — Les *rallonges* servent, par leur réunion consécutive, à constituer *la tige.* On les appelle aussi individuellement *les tiges.*

Elles doivent être toutes identiques, afin de pouvoir être prises dans un ordre quelconque. Il faut qu'elles soient rigoureusement rectilignes pour éviter les déviations. On les contrôle de temps en temps, sous ce rapport, à l'aide d'un fil à plomb.

La longueur des rallonges doit être aussi grande que possible, afin de diminuer le nombre total des assemblages, qui sont des parties coûteuses et critiques, ainsi que le temps des opérations nécessaires pour effectuer une sortie ou une rentrée de la sonde. Cette dimension est déterminée par la somme des hauteurs du chevalement et du puits de surface. Elle lui est égale, ou en forme un sous-multiple.

Dans le cas où l'on exécute un sondage au fond d'un puits de mines, ce dernier fait lui-même fonction de chevalement, avec une hauteur bien supérieure aux dimensions ordinaires. On en profite alors pour sortir à la fois plusieurs rallonges que l'on dépose, sans les disjoindre, contre les parois du puits. Mais cette simplification se trouve en général compensée par des inconvénients de diverses natures.

Comme les variations de niveau de la tête de sonde pendant le battage, ou la longueur de la vis qui la rend extensible pour supprimer ces changements de niveau, ne sauraient atteindre une longueur égale à celle d'une rallonge, qui est ordinairement comprise entre 5 et 12 mètres, on introduit une série de pièces plus courtes, ayant chacune une dimension égale à celle de la vis. Lorsque celle-ci est à bout, on la remonte entièrement dans son écrou, en la remplaçant par une de ces tiges accessoires. Elles disparaissent ensuite toutes à la fois, quand l'ensemble atteint la longueur d'une rallonge ordinaire.

72 — La section des tiges est de forme carrée, afin de per-

Digitized by Google

mettre l'usage de la *clef de retenue* (N° 66), et aussi celui du *tourne-à-gauche* qui permet de les saisir en un point quelconque. Son équarrissage dépend de l'importance du sondage et de la substance employée.

Fig. 45.
Tiges de bois.

Il existe en effet des tiges en fer ou en bois. Pour les premières, le côté du carré est ordinairement compris entre 25 et 50 millimètres. Il peut s'élever à 80 millimètres dans le fonçage des puits de mines.

La section doit augmenter avec les tiges en bois, puisque la résistance spécifique de la matière devient moindre, dans le rapport du sixième environ. Cependant cette variation est en partie compensée par celle de la densité. Il y faut joindre l'influence du principe d'Archimède, attendu que les tiges sont immergées dans l'eau, ce qui oblige à retrancher de cette densité l'unité, pour évaluer l'effort effectivement supporté par la section. On voit même que, sans la présence des ferrures et de l'outil, et en écartant par la pensée l'influence très importante de l'imbibition, la tige de bois devrait flotter et sa section n'aurait plus rien à soutenir. Au lieu de cette extrémité idéale, on n'aura en réalité qu'une diminution de poids, mais elle est assez notable pour que l'on puisse se contenter dans la pratique d'équarrissages de 50 à 100 millimètres de côté. Ces tiges servent surtout pour les forages destinés à atteindre de grandes profondeurs (N° 114).

M. Van Dijk, dans les sondages qu'il a exécutés aux Indes néerlandaises, a introduit l'emploi combiné du bois pour alléger la tige, avec une *âme* en fer qu'on y insère suivant son axe pour lui donner du raide[1].

73 — Les extrémités, ou *assemblages*, des rallonges sont des organes d'une grande importance et doivent particulièrement fixer l'attention. Si la tige est en bois, ces parties sont métalliques et boulonnées sur les deux bouts (fig. 45). Si elle est en fer, les

[1] Lippmann, *L'Art du sondage, progrès et résultats*, p. 9.

Digitized by Google

assemblages sont formés d'un métal de choix soudé aux extrémités du corps principal de la rallonge (fig. 46).

Il existe deux genres d'assemblages : à vis ou à enfourchement. L'*assemblage à vis* est de beaucoup le plus employé, en raison de sa simplicité. La vis est triangulaire. Elle est toujours tournée vers le haut, afin que la douille soit renversée vers le bas, et ne se transforme pas en un entonnoir susceptible de s'encrasser. La profondeur de la douille est un peu plus grande que la longueur de la vis, de manière que les embases puissent être serrées l'une contre l'autre.

Fig. 46.
Tiges de fer.

L'*assemblage à enfourchement* (fig. 47) a sur le précédent l'avantage de permettre des rotations dans les deux sens, sans que l'on ait à craindre, dans les manœuvres qui exigent la rotation inverse, de dévisser la tige en un point intermédiaire de la profondeur. Mais en revanche il nécessite, pour la réunion des deux parties, l'emploi de boulons mobiles qui sont d'une manœuvre minutieuse, et peuvent tomber dans le trou de sonde en créant les plus fâcheux obstacles.

Dans l'un et l'autre cas, l'assemblage présente un cran *a* et un renflement plus grand que le calibre courant. Nous avons vu l'usage que l'on fait de ce cran pour supporter la tige sur la clef de retenue (N° 66); quand on emploie le pied-de-bœuf, un second épaulement permet de la saisir avec cet appareil (fig. 46).

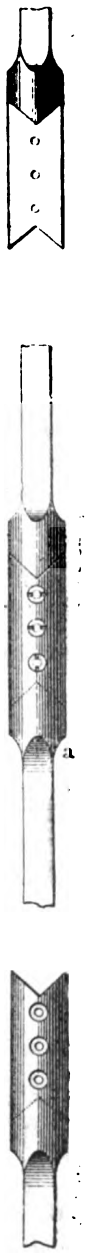


Fig. 47.
Assemblage à enfourchement.

74 — *Guides et Parachutes.* — La tige est maintenue dans l'axe du trou de sonde par un certain nombre d'organes appelés *guides*. Ce sont des cages

Digitized by Google

à claire-voie (fig. 48) un peu moins larges que le trou. Au lieu d'être assujetties à la tige, elles sont libres d'y glisser pendant le battage. Seulement des embases limitent leur course, pour qu'elles n'arrivent pas à s'accumuler les unes sur les autres. La distance de ces arrêts est supérieure à la levée usitée pour le battage.

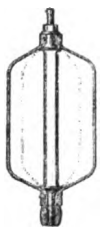


Fig. 48. — Guide.

75 — On adapte en outre à chaque rallonge un *parachute*, sorte de chapeau en cuir (fig. 49), dont la concavité est tournée vers le bas. Si la tige vient à se briser, la chute rapide du tronçon inférieur dans le sein de l'eau se trouve ralentie par les parachutes, qui y prennent un point d'appui. Les conséquences de l'accident se trouvent ainsi amorties.

Fig. 49. Parachute.

Pour éviter que les parachutes ne viennent exercer cette même action pendant le battage de manière à en paralyser les effets, on leur laisse, comme aux guides, une certaine liberté d'excursion le long de la tige. L'inconvénient se trouve par là supprimé pendant cette fonction normale de la tige, tandis qu'au moment d'une chute accidentelle d'une certaine étendue, le parachute, ayant bientôt rejoint dans son mouvement relatif l'embase qui limite vers le haut sa course, se trouve, à partir de ce moment, forcé d'accompagner la tige en remplissant son office de ralentissement.

§ 4

JOINT A CHUTE LIBRE

76 — *Objet du joint à chute libre.* — Autrefois on se contentait, pour assembler le trépan à la tige, de visser dans la douille de la dernière rallonge la vis qui surmonte cet outil. Mais il résultait de là des inconvénients très graves, avec lesquels il n'eût jamais été

Digitized by Google

possible d'aborder couramment les grandes profondeurs que l'on atteint aujourd'hui.

En premier lieu, l'intensité de la frappe devenait éminemment variable depuis l'origine du sondage jusqu'à sa terminaison, puisque le corps choquant se composait d'une partie constante, le trépan, et d'une autre, proportionnelle à la hauteur. On avait à la vérité la ressource de modifier la levée en raison inverse du poids; mais cette compensation restait insuffisante pour assurer le bon fonctionnement des appareils.

En outre, au moment où le système touche le fond, la vitesse se trouve, avec ce procédé, anéantie dans toutes les parties à la fois. L'énorme force vive qui s'y trouve accumulée ne peut cependant disparaître que par une production correspondante de travail. On en retrouve, à la vérité, une certaine quantité dans la désorganisation de la roche; c'est la partie utile. Mais la forme éminemment défavorable du corps choquant, qui est ici pour ainsi dire linéaire, tend à dépenser d'une manière nuisible le reste du travail disponible, en *voilant* la tige et y déterminant des courbures latérales. Cette violente vibration peut même aller jusqu'à produire la rupture. Dans tous les cas, en fouettant la paroi, elle tend à la désagréger rapidement.

On a cherché à supprimer ce double inconvénient en maintenant une certaine indépendance entre la tige et le trépan, de telle sorte qu'au moment où celui-ci touche le fond, son poids seul intervient pour produire un choc, car lui seul se trouve brusquement arrêté dans sa course. En raison de son indépendance, la tige continue au contraire librement son parcours sur une certaine longueur, que l'on utilise pour amortir progressivement sa force vive par le jeu de résistances convenables. On arrive de cette manière à l'arrêter doucement, avant qu'elle n'aille elle-même choquer contre le fond, ou contre le trépan devenu immobile. Cela fait, la tige remonte, ressaisit le trépan et le relève.

Un assez grand nombre de dispositifs, pour la plupart extrêmement ingénieux, ont été proposés dans ce but. Je me contenterai de décrire ici trois des principaux[1].

[1] Bornons-nous en outre à une simple mention pour les appareils Charles-Fran-

Digitized by Google

77 — *Coulisse d'Œynhausen.* — Le plus ancien de tous est la coulisse d'Œynhausen, encore usitée en raison de sa grande simplicité (fig. 50, 51).

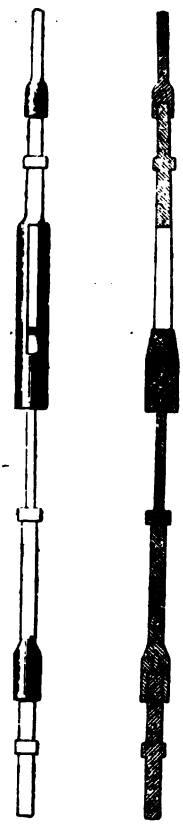


Fig. 50 et 51.
Coulisse d'Œynhausen
(élévation et coupe).

Cet organe est composé de deux parties, qui s'adaptent respectivement à la dernière rallonge et au trépan. La portion supérieure présente la forme d'une coulisse rectiligne, et l'autre se termine par un coulisseau engagé dans cette rainure. Pendant le mouvement descendant, le bouton repose sur le point le plus bas de la coulisse. Mais lorsque le trépan s'arrête contre le fond, celle-ci continue sa descente. Le coulisseau, devenu immobile dans l'espace, la parcourt en quelque sorte d'un mouvement relatif de bas en haut. Pendant ce temps, plusieurs moyens distincts peuvent être mis en œuvre pour arrêter la tige, avant que le sommet de la coulisse ne vienne lui-même choquer sur le coulisseau.

78 — Un premier mode consiste à disposer un arrêt fixe, sous lequel vient buter la queue du levier de battage (fig. 42), qui est en train de remonter pendant que la tige descend. C'est, à la vérité, encore un choc; mais il ne présente plus les inconvénients de celui que l'on a voulu éviter. En effet, en arrêtant subitement par la partie supérieure la tige qui se trouve lancée vers le bas, on tendrait plutôt à en rectifier les sinuosités, s'il en existait déjà, qu'à la faire flamber, comme lorsque son extrémité inférieure se trouvait fixée la première.

Néanmoins ce procédé est encore brutal. On a cherché à dimi-

çois, Dehulster, Ermeling, Esche, Fabian, Fauck, Gault, Greifenhagen, Hochstrate, Huchet, Humboldt et Schubarth, Kind, Purtchett, Seckendorf, Sigmondi, Sountag, Sparre, Van Dijk, Werner, Zobel. On pourra utilement consulter à cet égard le traité de Kohler : *Lehrbuch der Bergbaukunde*, pages 51 et 76. Voir également le rapport du Jury international de l'Exposition de 1889, groupe VI, chap. 48, p. 127.

Digitized by Google

nuer sa dureté, tout en conservant sa simplicité, par l'interposition d'un ressort de choc. Mais le véritable moyen d'adoucir l'arrêt des tiges consiste dans l'emploi de contrepoids, qui n'agissent que d'une manière progressive.

79 — Ici même, deux systèmes différents peuvent être mis en œuvre. D'après un premier mode, on installe le contrepoids à demeure sur la queue du balancier. Sa valeur est du reste tellement choisie, que son moment par rapport à l'axe de rotation soit inférieur à celui de l'ensemble de la tige et du trépan, afin de permettre le battage; mais, en même temps, ce moment reste supérieur à celui de la tige seule. Dès lors, quand le trépan a touché le fond, et que son action sur le balancier se trouve abolie, celui-ci ralentit son mouvement à partir de cet instant, et pourvu que la rainure soit assez longue et la valeur du contrepoids suffisante, il s'arrêtera avant que le sommet de la coulisse ait rejoint le coulisseau.

Mais on préfère à juste titre à ce dispositif un second mode dans lequel le contrepoids, au lieu de faire corps avec le balancier, repose simplement sur deux appuis fixes, à un tel niveau qu'il se trouve saisi sous sa face inférieure par la queue du levier, au moment où le trépan vient toucher le fond. De cette manière, pour réaliser une même intensité de choc, c'est-à-dire une même vitesse finale du trépan, l'on n'a plus, dans l'évaluation de la force vive, à prendre comme second facteur que les masses de la tige et du trépan seuls, sans leur adjoindre celle du contrepoids, qui est encore immobile à cet instant. La destruction de cette force vive, ainsi devenue moindre, pourra donc être opérée avec une coulisse moins longue et un contrepoids allégé.

Indépendamment de l'avantage de cette simplification, le rendement se trouvera augmenté. En effet, pour un même travail utile, c'est-à-dire un même choc du trépan, on a maintenant une moindre force vive totale, et par suite un moindre travail à fournir par le moteur pour vaincre la pesanteur pendant la levée, afin que la gravité, en restituant durant la chute une énergie égale, arrive à créer cette force vive.

Digitized by Google

80 — Pour comparer le rendement de ces divers dispositifs, désignons par P le poids du trépan, P′ celui des tiges, p leur bras de levier, c'est-à-dire la longueur du balancier de battage, Q le contrepoids, et q sa distance à l'axe de rotation. Au point de vue de l'évaluation des forces vives, nous pouvons, par la pensée, substituer au poids réel Q un contrepoids fictif $Q\frac{q^2}{p^2}$ qui serait placé sur le levier de battage à la même distance p que les tiges, mais de l'autre côté de l'axe de ce balancier. En effet, la vitesse se trouvant par là réduite dans le rapport de p à q, et par suite son carré en raison de p^2 et q^2, la force vive de la nouvelle masse installée de cette manière restera la même. Dans ces conditions, tous les poids se trouveront à la même distance de l'axe (car, pour simplifier, nous faisons abstraction du levier lui-même, et nous réduisons le contrepoids à son centre). Il suffira donc, pour avoir le rapport des travaux développés par la pesanteur, c'est-à-dire celui des forces vives créées par elle, d'envisager les rapports des forces elles-mêmes.

Or le trépan P est seul à travailler utilement. Pour l'animer de sa vitesse de chute, il a fallu, dans le premier système, la communiquer en outre à la tige et au contrepoids, c'est-à-dire à l'ensemble $P + P' + Q\frac{q^2}{p^2}$. Le rendement pourra donc, avec ce dispositif, être formulé par la fraction :

$$\frac{P}{P + P' + Q\frac{q^2}{p^2}}.$$

Avec le second mode, au contraire, on n'a mis en mouvement, à l'instant où le trépan touche le fond, que les tiges en même temps que lui, mais non le contrepoids. Le rendement devient, par suite alors :

$$\frac{P}{P + P'},$$

et il est, comme nous l'avons déjà fait remarquer, plus favorable.

Digitized by Google

L'aggravation de dépense occasionnée par le premier dispositif sera représentée par le rapport de ces deux fractions, à savoir :

$$1 + \frac{Q}{P + P'} \frac{q^2}{p^2}.$$

Pour rendre ce mode le moins défavorable possible, si l'on se résout à l'appliquer pour éviter le choc du levier sous le contrepoids, il conviendra donc de diminuer autant que possible la fraction :

$$\frac{Q}{P + P'} \frac{q^2}{p^2},$$

en disposant pour cela de Q et de q. Remarquons à cet égard que le moment Qq du contrepoids réel est déterminé, jusqu'à un certain point du moins, par la condition d'être supérieur à celui $P'p$ de la tige. On peut, d'après cela, le représenter par $\alpha P'p$, en désignant par α un nombre supérieur à l'unité. On se donnera d'ailleurs arbitrairement la valeur de ce coefficient, en vue de raccourcir ou d'allonger plus ou moins la coulisse, en rendant plus ou moins prépondérante l'action du contrepoids. La fraction devient par là :

$$\frac{\alpha}{1 + \frac{P'}{P}} \frac{q}{p};$$

et l'on voit que, pour la réduire le plus possible, il y aura utilité à augmenter le contrepoids en diminuant le contre-balancier.

81 — *Joint Lippmann.* — M. Lippmann emploie un dispositif dans lequel le joint se comporte en quelque sorte comme une main, qui lâcherait à un certain moment le trépan en le laissant tomber, pour aller ensuite le ressaisir au fond du trou, le relever à la même hauteur et l'y lâcher de nouveau. Le mouvement de ce grappin, commandé par la rotation de la machine à vapeur, est d'ailleurs continu et identique à celui d'un piston manœuvré par une manivelle par l'intermédiaire d'une bielle, avec cette seule différence

Digitized by Google

que la tige de ce piston, qui est ici la tige même de la sonde, devient démesurément longue.

Cette circonstance présente l'avantage de compenser exactement en théorie les divers travaux effectués par la pesanteur sur les tiges. On n'a plus besoin que de fournir, à chaque tour, le travail nécessaire pour relever le trépan ; mais cette dépense elle-même se retrouve dans l'effet utile de la chute libre. En outre, on remplace ainsi par un mouvement très doux tous les chocs accessoires qui étaient inhérents aux diverses combinaisons de l'appareil précédent.

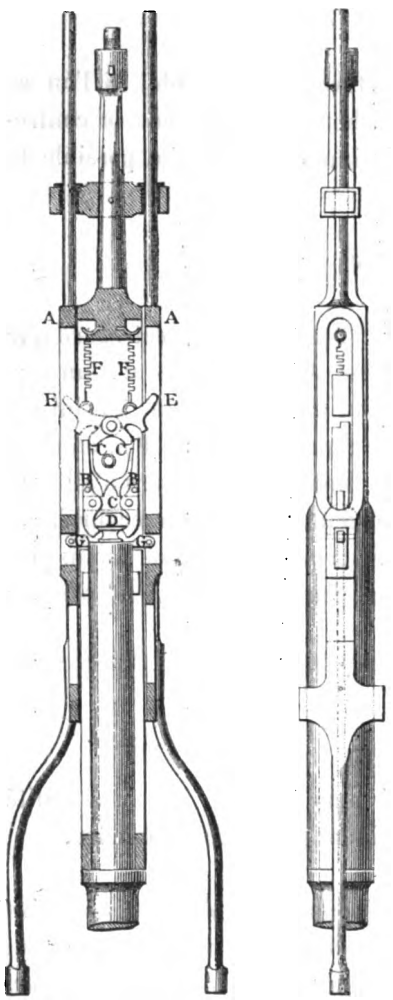


Fig. 52 et 53. — Joint à chute libre Lippmann (élévations antérieure et latérale)

Une partie fixe repose sur le fond du trou. On l'appelle le *poids mort*. J'indiquerai dans un instant comment il a été descendu, et comment on le remontera au jour. Sur ses montants (fig. 52, 53) se trouvent deux arrêts A, que l'on rend parfois mobiles à volonté, en vue de régler la levée du trépan. Entre ces montants joue une pièce rectangulaire fixée à l'extrémité de la tige, et portant les organes suivants. D'abord deux pattes recourbées B, susceptibles de jouer chacune sur son axe. Leur écartement est maintenu à la partie supérieure par des ressorts C, très faibles d'ailleurs. Elles serrent donc par leur partie inférieure le champignon D qui sur-

Digitized by Google

monte la tige du trépan, et constituent le grappin dont j'ai parlé, qui s'élève avec l'outil. Pour le faire ouvrir, de manière à lâcher ce champignon, il suffit de forcer les parties supérieures à se rapprocher. C'est ce que produisent les secteurs E qui, en butant contre A, sont obligés de se replier en dedans, en inclinant les pattes B, et faisant légèrement céder les ressorts de suspension F en même temps que ceux d'écartement C. Lorsque le système redescend, toutes les pièces se remettent en place en raison de l'élasticité des ressorts; et lorsque les pattes B se posent sur la convexité du champignon, sa conicité les entr'ouvre facilement pour lui permettre de se glisser entre elles. Elles se rapprochent ensuite en dessous par l'influence des ressorts d'écartement C, et le trépan se trouve saisi pour un nouvel enlevage.

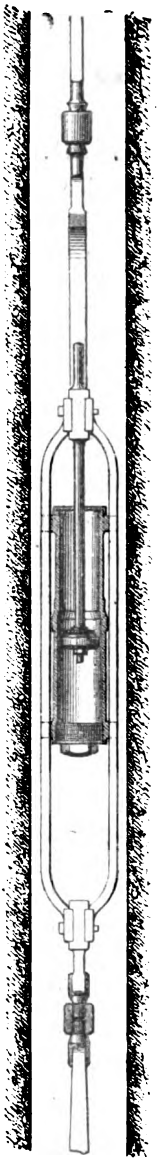


Fig. 54. — Joint Dru à pression d'eau.

Quand on descend le système du dehors, le poids mort repose par sa traverse sur la partie supérieure de la pièce rectangulaire qui termine la tige. Ce n'est qu'au moment où il touche le fond, que cette pièce, en continuant son mouvement, quitte la traverse, et peut jouer dans cet espace libre pour effectuer son fonctionnement. On a soin d'interposer deux cames G, pour empêcher que les pattes ne viennent à s'ouvrir, sous l'influence d'une circonstance quelconque, en lâchant le trépan, qui pourrait cisailler la traverse inférieure du poids mort et tomber jusqu'au fond en détruisant tout. Quand il s'agit de ressortir cet ensemble, on n'a plus à craindre le même danger, car on laisse reposer le trépan par ses oreilles sur cette traverse inférieure du poids mort, pour le ramener au jour, et il ne risque plus, comme à la descente, d'accrocher les parois, de

Digitized by Google

manière à laisser le poids mort prendre de l'avance et y retomber ensuite brutalement.

82 — *Joint Dru.* — Parmi plusieurs dispositifs de joint libre [1], M. Dru en a introduit un qu'il appelle *coulisse à pression d'eau* (fig. 54). Son principe essentiel consiste dans l'emploi d'un cylindre foncé par le bas, ouvert à sa partie supérieure, et composé de deux travées de diamètres un peu différents, dont la plus large est placée au-dessous de l'autre. Un piston obturateur porte le trépan à l'extrémité de sa tige. Lorsque le cylindre relié à la tige de sonde est à bas, l'obturateur en occupe la partie supérieure. La machine enlevant vivement la sonde, l'eau éprouve trop de difficulté à s'échapper entre le piston et le petit cylindre, qui est d'un diamètre presque égal, pour que le piston puisse y prendre un mouvement relatif bien rapide. Aussi le trépan se trouve-t-il enlevé du même coup. Mais quand l'obturateur finit par arriver à la travée la plus large, le jeu devient assez grand pour que le piston ne rencontre plus la même résistance, et le trépan tombe en chute libre

§ 5

OUTILS D'ATTAQUE ET DE CURAGE

83 — *Attaque.* — Nous avons distingué comme moyens d'attaque le battage et le rodage (N° 67). Dans le battage, on emploie deux sortes d'outils : contondants ou tranchants.

Les premiers sont appelés *casse-pierre* ou *bonnet carré* (fig. 55); ils constituent une sorte de massue, employée pour briser les matières particulièrement dures.

Les instruments tranchants portent le nom générique de *trépans*. Le tranchant est plus ou moins aigu suivant que la roche est plus ou moins tendre. Lorsqu'il s'est émoussé, on le recharge d'acier, et l'on a soin de repasser l'instrument dans un calibre, pour être sûr qu'il a exactement gardé la largeur du trou.

[1] *Notice* sur les appareils et outils de sondage exposés par Léon Dru, 1878, p. 26.

Digitized by Google

Le *trépan simple* est une sorte de ciseau (fig. 56). Le *trépan à téton* (fig. 57, 58) est muni d'une amorce centrale pour faciliter l'attaque. Le *trépan à oreilles* (fig. 59, 60) présente des ailes courbes disposées latéralement, et destinées à aléser le trou en assurant sa forme de révolution. Ce type est peu usité, à cause de la complication de ses réparations.

Quand le diamètre augmente sensiblement, il devient impossible

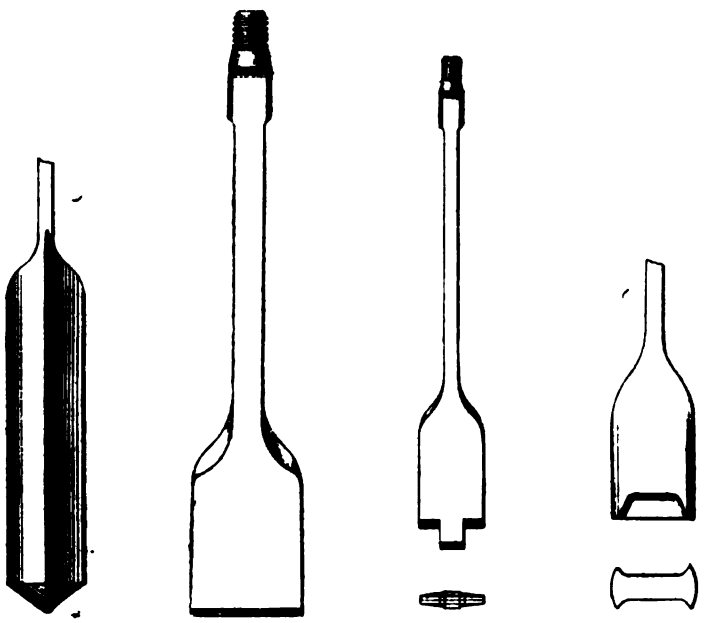


Fig. 55. Bonnet carré. — Fig. 56. Trépan. — Fig. 57 et 58. Trépan à téton (élévation et plan). — Fig. 59 et 60. Trépan à oreilles (élévation et plan).

d'employer un instrument venu d'un seul morceau à la forge. On se sert alors du *trépan composé* (fig. 61, 62). Il est formé d'une carcasse à laquelle on assemble avec des boulons un certain nombre de trépans élémentaires, faciles à démonter pour les réparations. Dans les puits de mine, le diamètre devient tellement considérable que, si l'on conservait la forme plane du trépan, le centre de la section se trouverait haché, tandis que la circonférence serait peu attaquée, en raison de la divergence des rayons.

Digitized by Google

On emploie pour ce cas la forme en double Y (fig. 63), qui entrecroise les entailles dans la région périphérique, et y procure une meilleure répartition du travail de désorganisation. Dans de pareilles conditions, le poids de l'instrument peut s'élever jusqu'à 20 et 25 tonnes.

Pour les plus grandes sections, on pratique le sondage en deux opérations alternées, à l'aide d'un ciseau central forant un avant-puits sur un diamètre restreint. Le trépan composé intervient ensuite avec deux ailes dont le tranchant est incliné de manière à dresser le fond de la couronne en forme de tronc de cône. Les débris coulent sur cette

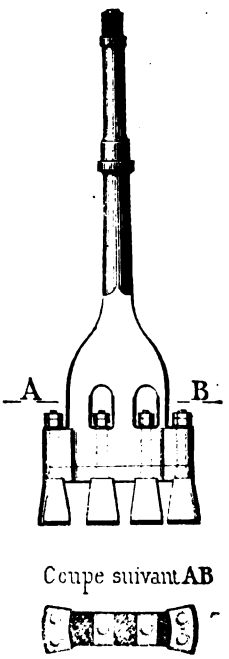


Fig. 61 et 62. — Trépan composé (élévation et coupe).

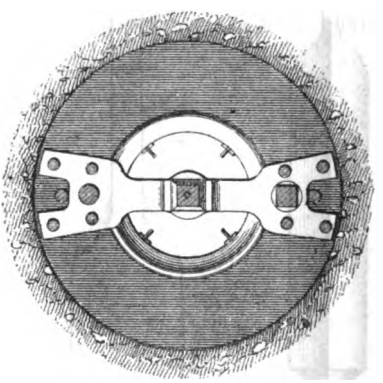


Fig. 63. — Trépan fourchu.

pente dans l'avant-puits, tandis que les deux ailes battent avec plus de liberté sur la zone circulaire. Le curage ne s'opère d'après cela que dans le puits central, avec une cloche d'un diamètre réduit, beaucoup moins lourde que si elle devait embrasser la totalité de la section.

84 — Parmi les outils qui agissent par rotation, je citerai le *trépan rubané* (fig. 64). Cet instrument conserve le nom de trépan, parce que, dans des sables légèrement agglutinés, on lui commu-

Digitized by Google

nique encore quelques mouvements verticaux combinés avec une rotation lente.

La *cuiller*, ou *tarière à glaise* (fig. 65), fonctionne par rodage hélicoïdal dans les terrains argileux [1].

L'*alésoir* (fig. 66, 67) sert, non plus pour obtenir l'avancement du trou, mais pour en parer la surface. C'est une sorte de fuseau

Fig. 64.
Trépan rubané.

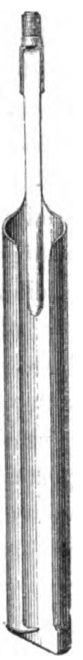


Fig. 65.
Tarière.

Fig. 66 et 67.
Alésoir
(élévation et plan).

qui a comme méridiennes des lames tranchantes, et auquel on communique un mouvement de rotation.

Fig. 68.
Cloche à boulet.

[1] Pagniez, Forage des puits à la tarière, *Annales industrielles*, 1883, II, 112.

Digitized by Google

85 — *Curage.* — En ce qui concerne les outils de curage, il faut dire d'abord que les cuillers dont nous venons de parler, peuvent déjà servir à ramener des *carottes* de glaise.

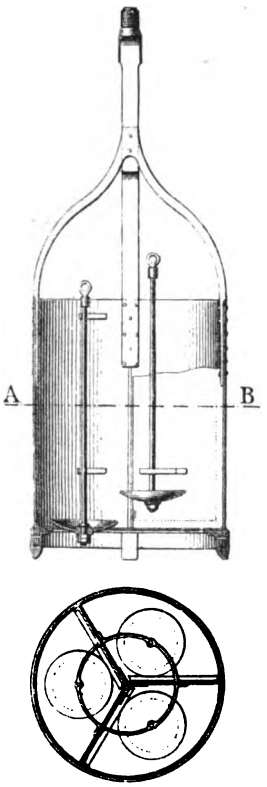


Fig. 69 et 70. — Cloche à clapets (élévation et plan).

Mais, en général, le curage se fait avec la *cloche à soupape*. On profite de ce que les matières sont délayées dans l'eau, pour les faire entrer dans la cloche en la sonnant de haut en bas. Avec les faibles diamètres, on se sert de cloches à boulet (fig. 68). Dans le fonçage des puits de mines, on emploie des clapets en forme de calotte sphérique (fig. 69, 70), guidés par une tige verticale, et associés en nombre suffisant pour qu'ils puissent remplir la section, sans atteindre eux-mêmes des dimensions trop importantes. D'ailleurs, comme un aussi grand appareil ne pourrait se renverser sur le côté pour vider la cloche, on pratique sur la paroi cylindrique des portes à coulisse, qui s'enlèvent suivant les génératrices de manière à permettre l'écoulement des matières au dehors.

§ 6

TUBAGE

86 — *Colonnes de tubes.* — Il ne suffit pas de forer le trou de sonde, il faut encore en assurer la conservation, tantôt pour un laps de temps indéfini, comme avec les puits artésiens, tantôt au contraire en se limitant à la durée de la recherche. Certaines roches peuvent se tenir seules sans revêtement, mais d'autres ter-

Digitized by Google

rains se fatigueraient à la longue, et quelques-uns même ne peuvent pas attendre sans s'ébouler en masse, ou laisser détacher des minéraux non adhérents, tels que les silex de la craie ou les rognons de fer carbonaté du terrain houiller. Quelques formations sont en outre susceptibles de foisonner et de remplir le trou de sonde, ou du moins d'en oblitérer la forme.

Pour tous ces motifs, on se trouve très souvent obligé d'introduire un revêtement artificiel qu'on appelle le *tubage*. Il est même bon, pour peu que l'on puisse prévoir de tels inconvénients, de ne pas attendre leur accomplissement, mais de les prévenir sans hésitation.

Le tubage présente, il est vrai, l'inconvénient de faire perdre une partie de la section. Sous ce rapport, on ne gagnerait rien à ne tuber que les portions éboulées, en laissant les autres sans revêtement, car la largeur des objets qui peuvent passer dans le trou de sonde se trouve, bien entendu, fixée par la section la plus étroite. L'économie seule peut militer en faveur de cette combinaison.

87 — On distingue les tubes temporaires et les tubes définitifs. Les premiers sont naturellement plus sommaires. On a même réussi, dans certains cas, à maintenir des sables pendant un temps suffisant, en bourrant le trou d'argile pilonnée, de manière à refouler un peu le sable, et à remplir les parties éboulées. On en est quitte pour forer de nouveau le trou avec la tarière à glaise, qui laisse sur les parois un revêtement d'argile.

La seule matière employée couramment pour les tubages est aujourd'hui la tôle de fer ou d'acier, que l'on choisit très douce pour qu'elle ne risque pas de se déchirer sous les efforts développés dans les manœuvres. Son épaisseur varie depuis quelques millimètres, avec les petits sondages, jusqu'à deux centimètres, pour les grands puits artésiens. Dans ce dernier cas, on compose le revêtement de deux tôles superposées, de 1 centimètre chacune, et l'on place à 180° de distance l'une de l'autre leurs génératrices d'assemblage. On fait de même chevaucher mutuellement, dans le sens de la longueur, les cercles de rivure des viroles successives. La longueur de celles-ci atteint 2 ou 3 mètres.

Digitized by Google

On a également essayé la fonte, mais seulement pour les puits de mines, car elle fait perdre beaucoup sur la section, et nous aurons à revenir plus tard sur ce sujet (N° 303), en nous bornant pour le moment aux trous de sonde ordinaires. Le fer-blanc, le fer galvanisé n'ont pas réussi. Le cuivre est trop cher. Le bois, malgré l'inconvénient de l'épaisseur qui devient alors excessive, convient très bien pour les puits artésiens. Cette substance, qui pourrit si vite par les alternatives d'humidité et de sécheresse, se conserve au contraire dans l'eau vive, surtout en ce qui concerne le chêne, l'orme, le hêtre, et tout particulièrement l'aune. Il suffira de citer à cet égard le plus ancien des puits artésiens de France, celui du couvent des Chartreux de Lillers (Pas-de-Calais), lequel, foré sous le règne de Louis le Gros en 1126, fonctionne encore aujourd'hui sans que l'on ait eu à renouveler son tubage.

88 — *Enfoncement d'une colonne.* — Les tubes ayant été préparés et amenés à pied d'œuvre, il s'agit de les assembler et d'enfoncer la colonne. Ces deux opérations marchent simultanément. On ajoute une nouvelle virole sur la tête de la dernière, qui fait saillie au dehors; puis on enfonce le tout d'une quantité égale à la longueur de cette virole, et ainsi de suite. Examinons donc successivement ce qui est relatif à l'assemblage et à l'enfoncement.

Pour réunir les tubes, on a d'avance ménagé à l'une des extrémités de chacun d'eux un manchon d'assemblage, avec évidement intérieur dans lequel s'emboîtera l'extrémité du tube suivant. On les réunit ensuite au moyen de rivets posés à froid, et soigneusement effacés pour ne pas déchirer le terrain ni s'opposer au passage des outils.

Pour faire la rivure dans les tubes de grand diamètre, on descend un plancher volant fixé avec des crampons à l'extérieur du tube; un ouvrier s'y installe, pendant qu'on lui répond du dehors.

En ce qui concerne les petits calibres, après avoir mis en regard les trous pratiqués à l'avance dans les deux tôles, on introduit avec une ficelle un rivet dans le tuyau, on passe de l'extérieur à travers l'œillet un crochet à l'aide duquel on retire au dehors la ficelle, de manière à engager la tige du rivet dans ce trou. Quand

Digitized by Google

toutes les ouvertures sont ainsi garnies de leurs rivets, on engage dans le tube un appareil formé de deux portions de cylindre écartées par un coin (fig. 71), de manière à remplir le vide en comprimant toutes les têtes de rivets contre la paroi. Cet ensemble sert alors d'enclume pour river par l'extérieur toutes les tiges, après quoi l'on desserre le coin et l'on retire l'appareil.

On peut aussi, lorsque l'épaisseur le permet, visser les viroles l'une dans l'autre.

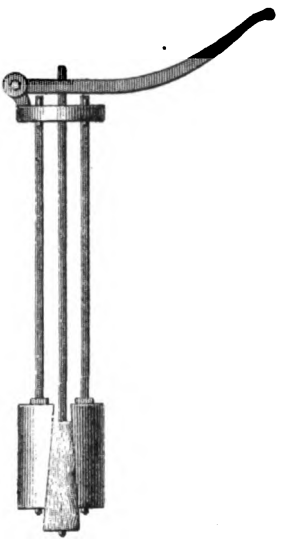


Fig. 71. — Coin de rivure.

89 — Quant à l'enfoncement, nous devons distinguer deux cas, suivant que l'on est obligé de soutenir la colonne, pour l'empêcher de céder trop rapidement à son poids, ou qu'il faut au contraire la forcer de pénétrer malgré les résistances.

Dans le premier cas, nous envisagerons encore successivement les petits et les grands diamètres. Pour un tuyau étroit, on coiffe son sommet d'un *manchon à joint de baïonnette* (fig. 72), qu'on

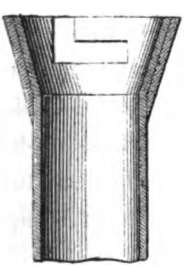


Fig. 72. — Manchon à joint de baïonnette.

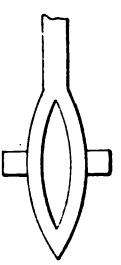


Fig. 73. — Suspension du tubage.

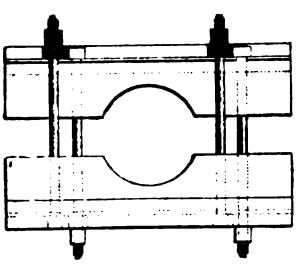


Fig. 74. Frein de retenue.

lui assemble d'une manière provisoire. Une barre passée dans le joint (fig. 73) le réunit aux chaînes du chevalement, à l'aide desquelles on soutient tout le système. On le serre alors dans une

Digitized by Google

forte mâchoire (fig. 74), placée en guise de clef de retenue, afin de permettre de détacher le manchon et d'assembler une nouvelle virole. Celle-ci étant de nouveau coiffée avec le manchon, on mollit sur les freins, de manière à laisser filer le tubage.

Avec les grands diamètres, on dispose un nombre suffisant de semblables mâchoires de serrage, auxquelles on adjoint un appareil de sensibilité dont la destination est d'avertir, pour guider le desserrage, du moment décisif où l'on approchera de la mise en liberté de cet énorme poids. Ce dernier atteint parfois en effet plusieurs centaines de tonnes, et l'on ne doit sous aucun prétexte lui laisser acquérir une vitesse sensible. Le système se trouve à cet effet suspendu sur des tiges, communiquant avec des manivelles par des répétitions de vis sans fin, qui réduisent dans un rapport très considérable l'effort transmis. Il devient alors possible de lui opposer la force des hommes agissant sur ce treuil, toujours avec le secours des serre-freins, et de guider ainsi ces derniers au commandement pour le desserrage, d'après la sensation de l'effort auquel on résiste sur les manivelles [1].

90 — Si au contraire le sol s'oppose à l'enfoncement, on appliquera un effort additionnel sur la tête de la colonne, préalablement coiffée d'un tampon de bois afin de prévenir sa détérioration. On peut pour cela procéder par choc ou par pression. Mais la chute d'un mouton est de nature à déterminer des déformations désastreuses, car le corps choqué se trouve ici placé par sa forme, à la fois creuse, mince et allongée, dans les plus mauvaises conditions quant à la répartition des travaux moléculaires. De plus, les vibrations se communiquent au terrain, qu'elles ébranlent. Elles détachent des grains de sable qui se coincent entre la paroi et le tube, en augmentant encore le frottement. On doit donc préférer l'emploi d'une pression continue.

A cet effet (fig. 75, 76) on passe dans le chapeau de bois des vis

[1] On a également proposé pour cette opération l'emploi des presses hydrauliques, de manière à laisser filer le tube par l'écoulement de l'eau, qu'il est facile de suspendre d'une manière presque instantanée par la simple fermeture d'un robinet, en prenant, bien entendu, toutes les précautions nécessaires pour se mettre en garde contre les conséquences de l'arrêt trop brusque d'une telle masse.

Digitized by Google

dont le point d'appui est pris sous un plateau, qui supporte la charpente du chevalement, et même des massifs additionnels de maçonnerie si cela devient nécessaire.

91 — On a désigné sous le nom de *puits instantanés*, ou de *puits abyssiniens* [1], un mode de fonçage destiné à procurer de l'eau, pour lequel on opère d'un seul coup le forage et le tubage, en se limitant d'ailleurs aux profondeurs les plus modérées.

A cet effet on enfonce dans le sol, à l'aide d'un mouton, un tube de fer muni à son extrémité inférieure d'une pointe d'acier formant trépan, et garnie de trous à sa base jusqu'à une certaine hauteur. Pour obtenir de l'eau, il suffit, après le nettoyage de ce tube, d'y faire jouer une pompe.

Dans les terrains un peu durs, MM. Le Grand et Sutcliff font agir le mouton directement sur la tête de la pointe d'acier par l'intérieur du tube.

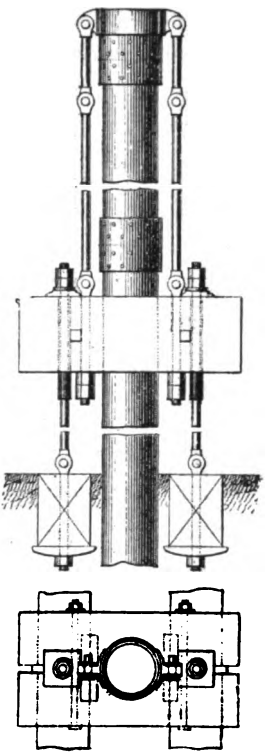


Fig. 75 et 76. — Presse de tubage (élévation et plan).

La plus grande profondeur atteinte à l'aide de ce procédé a été de 36 mètres. Les diamètres varient de $0^m,03$ à $0^m,10$. Il est d'ailleurs préférable d'exécuter plusieurs forages de diamètre moyen, plutôt que d'exagérer cet élément.

92 — *Réenfoncement d'une colonne.* — Il devient quelquefois nécessaire de procéder, au bout d'un certain temps, au réenfoncement du tubage, lorsque la suite du sondage révèle une nouvelle passée ébouleuse, au delà du point où il avait été arrêté.

On peut à la vérité l'éviter en coulant dans l'intérieur du pre-

[1] *Les Mondes*, LI, 851. — Habets, *Exposition universelle de* 1878, groupe VI, classe 50, p. 31.

Digitized by Google

mier tube une seconde colonne, d'une hauteur suffisante pour la nouvelle partie dangereuse, sans même revêtir la travée intermédiaire qui n'en a pas besoin. Ce moyen reste en tous cas comme une dernière ressource, si le premier tubage refuse absolument de descendre. Mais comme il est très fâcheux de rétrécir ainsi le diamètre, on ne s'y résigne que difficilement [1]. Pour ce motif, certains sondeurs n'hésitent pas à tuber sans discontinuité jusqu'à la surface des parties qui ne le nécessiteraient pas par elles-mêmes, au-dessus d'une portion ébouleuse, afin de se trouver mieux à portée d'agir ultérieurement sur la colonne, s'il devient nécessaire de la pousser en avant.

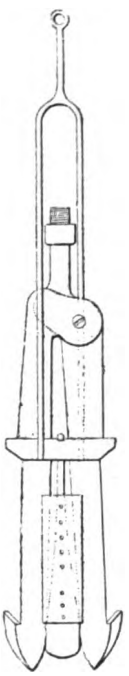


Fig. 77.
Élargisseur.

93 — Les moyens employés pour effectuer le réenfoncement sont identiques à ceux qui viennent d'être décrits pour la première descente, après toutefois que l'on a pu détruire au-dessous de la colonne une couronne de rocher égale à son épaisseur. Il reste donc à faire connaître le procédé qui permet d'y parvenir.

On se sert pour cela de l'*élargisseur* (fig. 77), instrument capable de se replier sur lui-même pour descendre dans le tube, et de se développer ensuite sur un diamètre plus grand, une fois qu'il a dépassé la base de la colonne, afin d'attaquer la roche de bas en haut au moyen de gouges. A cet effet, en même temps que deux lames de ciseaux qui sont vissées à l'extrémité de la tige, on descend, au bout d'une cordelette, un système formé de trois pièces : 1° un anneau embrassant les ciseaux pour les obliger à se rapprocher lorsqu'on vient à l'abaisser, tout en leur permettant au contraire de s'écarter quand on le remontera, s'ils y sont d'ailleurs sollicités; 2° une navette adaptée

[1] M. Zsigmondi a employé, sur une hauteur de 970 mètres, treize tubages successifs dans le puits artésien de Budapesth, dont le diamètre s'est trouvé par là réduit de 487 à 80 millimètres. (Habets, *Exposition universelle de* 1878, groupe VI, classe 50, p. 26).

Digitized by Google

au-dessous de cet anneau, de manière à pouvoir se glisser entre les deux lames, les forçant de s'écarter quand on la tirera vers le haut, et leur permettant de se refermer lorsqu'on l'abaissera; 3° une masse suspendue à la cordelette, à une petite distance au-dessus des montants de l'anneau.

Le tout est descendu, après que l'on a serré l'anneau. Pour déployer l'élargisseur, quand il est arrivé au-dessous du tube, il suffit de tirer sur la cordelette. Pour le refermer au contraire, au moment où il faut le ressortir, on sonne avec cette corde, de manière à laisser tomber le mouton sur la tête des montants.

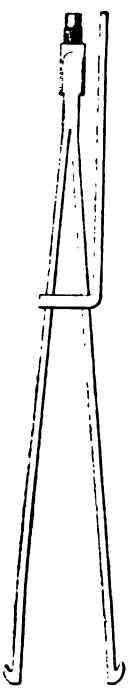


Fig. 78. — Crochet élargisseur.

Fig. 79. Navette.

94 — *Arrachage d'une colonne.* — On peut également avoir à procéder à la dépose des tubes, s'ils sont ovalisés par la pression, percés par l'oxydation, ou déchirés par les instruments, si l'on veut élargir le trou de sonde, ou l'abandonner définitivement en retirant le tube pour utiliser sa valeur comme vieux fer.

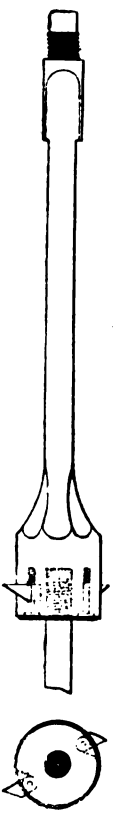


Fig. 80 et 81. Coupe-tuyaux (élévn et plan).

On emploie à cet effet pour saisir en dessous la colonne le *crochet élargisseur* (fig. 78), qui est susceptible de se rétrécir ou de s'épanouir à volonté comme l'appareil précédent; ou encore l'*arrache-tuyaux*, appelé aussi *navette* (fig. 79). C'est une sorte de fuseau adapté à l'extrémité de la tige. Il n'atteint pas tout à fait le diamètre du tube. Un cylindre ouvert par ses deux extrémités a été enfilé sur sa

Digitized by Google

tige, avant qu'on la vissât à la sonde. On l'a rempli de sable ou de gravier, et attaché à une cordelette que l'on descend avec tout le système, mais sans la raidir. Lorsque la navette est parvenue près de la base de la colonne, on tire sur la corde. Le cylindre s'enlève, et le gravier s'écoule tout autour du fuseau. En soulevant la tige, on le coince de toutes parts, et son arc-boutement rend le glissement impossible. Il suffit alors d'effectuer de bas en haut des abatages, ou d'exercer avec le moteur un effort continu de traction, suffisant pour remonter le tube adhérent à la sonde.

95 — Si l'on ne réussit pas à sortir d'un seul coup toute la colonne, il reste encore la ressource de la découper en plusieurs tronçons, dont chacun offrira moins de résistance. On les enlèvera ensuite successivement, en commençant par la partie supérieure.

On emploie pour cela le *coupe-tuyaux* (fig. 80 et 81), dont les burins font saillie en se piquant dans le métal quand on tourne dans un certain sens, tandis que, par la rotation inverse, on les fait rentrer dans leur logement afin de retirer l'appareil.

On a même imaginé [1] un *appareil à percer les tubes*, pour un cas où un tuyau plein avait été par mégarde enfoncé jusque dans la couche aquifère d'un puits artésien.

§ 7

ACCIDENTS

96 — L'ensemble si complexe des opérations précédentes constitue la marche normale d'un sondage. Mais il s'en faut de beaucoup en général qu'un forage un peu prolongé se développe d'une manière absolument régulière et sans aucun dérangement. Les accidents y sont fréquents, et l'art du sondeur doit faire face à toutes les difficultés qui se présentent. Elles peuvent du reste varier indéfiniment, et nous devrons nous borner ici à indiquer comme exemples celles que l'on rencontre le plus fréquemment.

[1] *Génie civil*, VIII, 31.

Digitized by Google

C'est, en premier lieu, la *déviation du trou de sonde*. Bien des causes peuvent la provoquer, parmi lesquelles l'inclinaison du pendage des couches, de la schistosité, ou des failles rencontrées. Dès que l'on s'aperçoit de cette irrégularité, il faut sans retard bourrer toute la partie dérangée à l'aide de silex pilonnés avec le casse-pierre, de manière à constituer une sorte de roche artificielle, à travers laquelle on reprend ensuite le forage avec beaucoup de soin.

La *remontée de sables coulant par le bas* constitue une sorte de source indéfinie que l'on ne parviendrait jamais à épuiser, et dont le débit risquerait en outre d'affaiblir et de disloquer les parois. Il convient alors d'enfoncer un tube jusqu'au-dessous de la partie fluide, pour en isoler le sondage.

Le *coincement d'un outil* dans le trou demande que l'on varie les efforts en employant des rotations, de petits ébranlements et, quand on croit le moment venu, de grands abatages de bas en haut avec la coulisse d'Œynhausen. Le sondeur prendra soigneusement ses précautions pour que ces secousses ne puissent déterminer une rupture de tiges, qui aggraverait considérablement la situation. On ne doit rien donner au hasard. Il faut raisonner chaque mouvement avec la plus grande patience.

97 — La *rupture de la tige* constitue l'un des accidents les plus graves. Il a retardé de deux années M. Mulot dans le forage du puits de Grenelle. Une rupture de trépan a même amené l'abandon du sondage de la Mouillelonge (Saône-et-Loire) après six mois d'efforts, lorsqu'on était déjà arrivé à 920 mètres, et que des empreintes houillères indiquaient l'approche du but de la recherche.

Le premier soin doit être d'apprécier, d'après l'inspection du tronçon que l'on a sorti, la longueur de la rallonge brisée qui est restée dans le trou de sonde. Si la rupture a eu lieu près de l'assemblage inférieur, on passera au-dessous de ce dernier la *caracole* (fig. 82 et 83), sorte de virgule horizontale, que l'on tourne autour de la rallonge intacte, de manière à ce que celle-ci se trouve insérée dans le fond de la spirale. Quand on retire l'instrument, il

Digitized by Google

saisit l'emmanchement, sans lui permettre de passer au travers, et l'on enlève le tout.

Si, au contraire, la rupture a eu lieu près de l'emmanchement supérieur, on ne pourrait plus agir de même, attendu que ce long tronçon, d'une verticalité mal assurée, irait se piquer dans la paroi. On descend alors la *cloche à écrou* (fig. 84), formant une sorte d'entonnoir renversé, avec lequel on cherche à coiffer la tige brisée. Cette cloche est filetée intérieurement. Le filet de vis est aciéré et bien coupant, de manière à faire prise dans le fer doux de la tige quand on tourne l'instrument sous une forte pression. L'union des deux corps une fois opérée, on élève avec précaution tout l'ensemble.

Fig. 82 et 83. Caracole (élévation et plan).

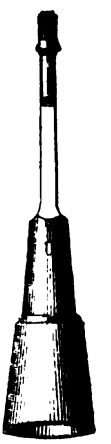


Fig. 84. Cloche à écrou.

L'*éboulement* est toujours un retard fâcheux, et de plus il détériore les parois. Mais il prend encore plus de gravité, s'il survient pendant que la sonde est engagée dans le trou, car il entrave absolument sa sortie. Il faut dans ce cas démonter la tige progressivement, en dévissant l'une après l'autre les rallonges au moyen de rotations inverses. On les saisit pour cela avec l'*accrocheur à pinces* (fig. 85). Ses griffes, dans leur état naturel, restent écartées en raison de leur élasticité, ce qui permet de chercher la tige et de l'insinuer entre elles. Quand on pense l'avoir rencontrée, on fait descendre pour la saisir l'anneau de serrage, ainsi qu'il a été expliqué à l'occasion de l'élargisseur (N° 93). Au fur et à mesure que l'on a retiré une rallonge, on vide la hauteur correspondante avec la cuiller. En outre, dès que cela devient possible, on descend un tube pour prévenir de nouveaux éboulements.

Digitized by Google

98 — La *perte d'un objet* métallique dans le trou est un des accidents les plus fréquents, qui, parfois insignifiants, peuvent dans d'autres cas entraîner les plus graves conséquences.

Il se peut que l'on connaisse d'avance l'objet, pour l'avoir vu tomber. Dans le cas contraire, on n'est averti de sa présence que par l'état de détérioration du trépan à sa sortie. Pour savoir alors en présence de quel obstacle on se trouve, on descend un tampon de terre glaise pétrie avec du chanvre et de l'huile, afin de prendre en creux le moule du fond. Si l'empreinte n'est qu'approximative, on peut en compléter les indications, car le directeur d'un sondage doit avoir par devers lui le dessin exact et les dimensions précises de toutes les pièces qu'il emploie, afin de pouvoir s'y référer en cas de perte, en éclairant d'autant la situation [1].

Fig. 85. Accrocheur à pinces.

Quand l'objet est resté libre, on réussit quelquefois à le retirer en bourrant de l'argile dans le fond, pour qu'il s'y incruste, et remontant une *carotte* avec la cuiller.

Fig. 86. Tire-bourre.

S'il n'est que faiblement adhérent, on pourra s'y prendre de même après l'avoir remis en liberté à l'aide du *râteau*, sorte de fourche à pointes multiples que l'on fait pivoter sur son axe, de manière à labourer circulairement le fond.

Lorsque la consistance du corps s'y prête, on y fait pénétrer le *tire-bourre* (fig. 86). Cependant cet outil tend à disparaître de l'usage, car on doit toujours craindre de le voir s'ouvrir sous la pression et refuser ensuite lui-même de remonter.

Quand la forme de l'objet le permet, on cherche à le saisir avec l'accrocheur à pinces (fig. 85).

[1] Lippmann, *Petit traité du sondage*, p. 11.

Digitized by Google

Si enfin l'on désespère de le retirer, on entreprend de le détruire sur place, soit avec des outils appropriés, soit par l'action des acides, lorsque la roche n'est pas elle-même trop susceptible d'en ressentir l'action corrosive. Il faut pour cela descendre au fond du trou une petite bonbonne d'acide concentré, et l'y écraser d'un coup de trépan.

On a également employé dans ce but la dynamite, en la faisant sauter par l'électricité, afin de fragmenter l'objet par cette action irrésistible (1). Ajoutons à cette occasion que l'usage de cet explosif tend à s'introduire même dans le travail normal, pour faciliter l'action du trépan sur des roches trop dures.

Enfin, lorsqu'on a épuisé sans succès toutes les ressources, il reste à faire une dernière tentative, en cherchant à refouler l'objet nuisible dans l'épaisseur de la paroi, de manière à laisser libre la section du trou pour le passage des outils.

§ 8

SONDAGE AU DIAMANT

99 — L'art du sondeur s'est enrichi dans ces derniers temps d'une méthode spéciale très précieuse : le *sondage au diamant* (2), qui a permis d'atteindre les plus grandes profondeurs (3), et donne d'excellents résultats lorsque certaines conditions se trouvent réu-

(1) Sarran, Emploi de la dynamite dans un accident de sondage, *CRM*, 1885, p. 21. — Brunet, *CRM*, 1883, 182.

(2) Sauvage, *Annales*, 7e, VII, 451. — Lodin et E. Gruner, *Annales*, 7e, VII, 479. — Major Beaumont, *Rev. univ. d. m.*, XXXV, 576. — Loriol, *Bull. min.* (congrès de Saint-Étienne), p. 78, et *CRM*, 1875, 8. — Dupont, *Annales*, 7e, VIII, 154. — Lecornu, *Annales*, 7e, XIV, 333. — Baure, *Annales*, 7e, XVI, 209 à 228. — *Travaux de forage exécutés par la Continental diamond rock boring Company*, Leipsick, 1879. — Colladon, Notice sur Leschot, *Comptes rendus*, XCVIII, 475. — Baure, Sondage de Villefranche-d'Allier, *Bull. min.*, 2e, XIV, 5. — Nordenström, Le sondage au diamant dans les mines de Suède, *Rev. univ. d. m.*, 3e, X, 302.

(3) Sondage de Probst Jesar (Mecklembourg-Schwerin), 1207 mètres de profondeur.

Sondage de Wheeling (Virginie orientale), 1500 mètres de profondeur. (*La Nature*, 19 mai 1894, p. 398. — *L'Universelle*, 24 janvier 1895, p. 1.)

Sondage de Schladebach (cercle de Merseburg), 1748 mètres de profondeur, diamètres extrêmes 280 et 31 millimètres. (*Comptes rendus*, CI, 1363. — *Echo des mines et de la*

Digitized by Google

nies : roches particulièrement dures, section très modérée, de moins d'un décimètre en général, nécessité de réaliser une grande rapidité sans trop regarder à la dépense. La méthode se prête médiocrement au forage des poudingues, conglomérats, et autres roches formées de noyaux durs enclavés dans une pâte molle. Elle ne convient plus du tout dans l'argile. Pour une telle traversée, on substitue au perforateur diamanté une tarière ordinaire.

On emploie des diamants noirs, ou des diamants défectueux rejetés par la joaillerie. Ils pèsent en moyenne deux carats, et coûtent environ 40 francs le carat. Il convient d'en disposer le plus grand nombre sous la base, et quelques-uns sur la circonférence d'une pièce métallique appelée *bit*, animée d'une rotation rapide. On peut les y adapter soit par sertissage, comme le font les bijoutiers, soit en les forçant à la presse hydraulique dans une petite fente, soit, avec le procédé Taverdon, en les enrobant dans du métal déposé au moyen de la galvanoplastie, au sein duquel ils se trouvent complètement noyés. Ce métal s'use rapidement et met à découvert les pointes de diamant. Dès lors son usure cesse, la masse métallique restant dorénavant préservée par la saillie des diamants.

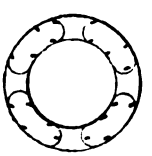


Fig. 87 et 88. — Bit creux (élévation et plan).

100 — Le bit admet deux variétés. Le bit *plein* use la roche sur toute sa superficie. Il présente, d'après cela, le double défaut de ne fournir comme indication que des matières pulvérisées sous forme de farine, et en outre d'effectuer le maximum du travail de désagrégation. En revanche, il permet un enfoncement indéfini, sans qu'il soit nécessaire de le ressortir.

métallurgie, 1885, p. 415. — *Moniteur industriel*, 19 avril 1892. — *Bulletin de la Société industrielle de Mulhouse*, février 1892.)

Sondage de Taruschowitz (district de Ribwik, Silésie orientale). La sonde avait atteint en novembre 1893, la profondeur de 2 000 mètres, et l'on projetait d'aller à 2500 mètres (Max de Nansouty, *Supplément du Figaro*, 25 novembre 1893).

Digitized by Google

Le bit *creux*, au contraire (fig. 87 et 88), ne porte de diamants que sur une surface annulaire. Le forage s'effectue donc en laissant subsister, suivant l'axe, une colonne de rocher appelée *carotte* ou *témoin*, qui se loge dans le centre du bit au fur et à mesure que celui-ci s'abaisse. Parfois ce dernier est à gradins, et porte des diamants sur deux ou trois couronnes concentriques.

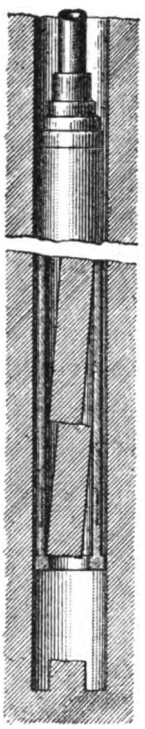


Fig. 89.
Tube carottier.

Ce bit, dont la hauteur est à peu près égale à son diamètre, se visse à l'extrémité d'un *tube carottier* (fig. 89), d'une section presque égale à celle du trou, et d'une longueur qui peut atteindre jusqu'à 8 mètres, afin de permettre un forage prolongé sans qu'il soit nécessaire de sortir la sonde. Le témoin y prend place dans toute sa longueur. Vers la fin on laisse déposer les farines, en arrêtant le courant d'eau dont nous parlerons tout à l'heure; on imprime une rotation rapide, qui coince ces poussières et brise le témoin à sa base. Le cran qui se trouve à la partie inférieure retient le cylindre, et permet de le remonter à la surface, où il fournit pour l'examen les indications les plus complètes.

101 — Le tube carottier s'adapte lui-même à l'extrémité de la tige de sonde, formée de rallonges qui atteignent 16 mètres de longueur. Cette tige est creuse, de manière que l'on puisse déterminer dans son intérieur un écoulement d'eau, lequel arrive à la base du forage, passe à travers des trous pratiqués dans le bit, et remonte par le vide annulaire ménagé autour de la tige, dont le diamètre est notablement moindre que celui du trou. Ce courant, s'il est assez rapide, enlève les farines jusqu'à la surface [1]. On l'obtient en développant à la tête des tubes une pres-

[1] Il convient de reporter le mérite de ce principe à l'inventeur Fauvelle, qui l'avait appliqué avec un certain succès, longtemps avant l'introduction des diamants comme outil d'attaque. Cette dernière innovation a donné à ce procédé une efficacité définitive

Digitized by Google

sion de quelques atmosphères, que l'on doit se garder d'exagérer au delà du nécessaire, si le terrain présente des parties meubles susceptibles de s'affouiller. On détermine cette pression à l'aide d'une ou deux pompes foulantes, qui envoient l'eau à travers le robinet R (fig. 90) et un joint souple, destiné à pouvoir suivre la tête de la knill pendant son abaissement.

Cette *knill* est l'organe de mise en mou-

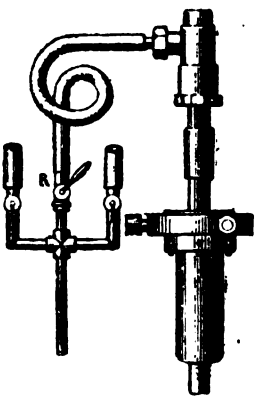


Fig. 90. — Joint souple.

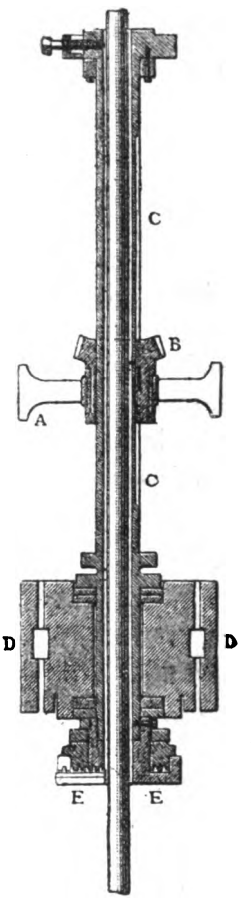


Fig. 91. — Knill.

vement de la sonde (fig. 91). Elle est guidée au moyen d'un palier fixe A, dans lequel tourne un collier muni d'une roue d'angle B qui reçoit du moteur une rotation de 300 à 400 tours par minute. Ce collier est traversé à prisonnier par le corps de la knill C. Il lui imprime donc le mouvement de rotation, en permettant en même temps son abaissement longitudinal pour suivre l'avancement. Un palier mobile D l'accompagne, guidé par

en réduisant uniformément au minimum de dimensions les matières que l'eau est chargée d'entraîner. (*Bull. Soc. d'enc.*, 1re série, XLV, 462. — *Portefeuille économique des machines*, 3e, IX, 125. — Nougarède, *CRM*, 1886, p. 140 et 247. — Manigler, *Bull. min.*, 3e, I, 779. — Van Dijk, Sondage avec tuyaux forés et injection d'eau centrale, *Annales des mines des Indes néerlandaises*, tome I, 1882.)

Digitized by Google

des montants fixes. A sa base, une rondelle E est munie de griffes qui pincent la tige afin de lui communiquer le mouvement, mais que l'on peut desserrer pour la lâcher et remonter la knill à l'aide d'un contrepoids sur une longueur égale à son excursion, lorsqu'elle est à bas.

§ 9

SONDAGE A LA CORDE

102 — Si l'on remonte aux origines historiques de l'art du sondeur, on y rencontre un procédé qui, après avoir été longtemps délaissé, se trouve aujourd'hui couramment employé dans des circonstances pour lesquelles il rend de précieux services. C'est la méthode du *sondage à la corde* (1). On lui a quelquefois donné le nom de *sondage chinois*, parce qu'il a produit en Chine des résultats remarquables. Dans la province de Se-Tchoan on en fait encore exclusivement usage, et d'une manière fort rudimentaire, pour le forage de puits donnant de l'eau salée, du pétrole ou du gaz. Cette région a été criblée ainsi d'environ dix mille trous de sonde, dont quelques-uns atteignent 1100 mètres (2).

Fig. 92. Assemblage du câble et du trepan.

Mais c'est aux États-Unis, notamment en Pennsylvanie, que ce système a été rendu vraiment pratique et a pris un développement considérable pour l'exploitation du pétrole et du gaz naturel.

Il consiste dans la substitution d'un câble, le plus souvent en chanvre, à la tige rigide et démontable, ce qui allège l'appareil et dispense de l'emploi de tout contrepoids. L'extrémité de ce câble est fixée à l'outil par un dispositif spécial

(1) Frommann, Sondage chinois, *Bull. Soc. d'enc.*, 1re série, XXXIV, 143. — H. Deutsch. *Le pétrole et ses applications*, Paris, Quantin, 1891. — Leproux, *Bull. min.*, 3e, VIII, 80. — Le Chatelier, inspecteur général des mines, *Notice* sur le sondage à la corde, in-8°, 1852. — *Zeitschrift BHS*, XLII, 5e livr.

Sondages à la corde par MM. Corberon, Gaiski, Goulet, Guilraud, Jobard, Köhbrich, Mather et Platt, Selligne, Sello, etc.

(2) Coldre, *Annales*, 8e, XIX, 451, 463, 491.

Digitized by Google

(fig. 92). A la partie supérieure il se trouve suspendu au balancier par l'intermédiaire d'une vis, permettant un allongement lent et progressif, ainsi que d'une pince de serrage (fig. 93) qui saisit la corde sans la détériorer, et dont on change le point d'attache lorsque la vis est arrivée à fond de course. Cette pince est parfois suspendue à la vis par l'intermédiaire d'une couronne de billes en acier, qui rend très facile la rotation du câble.

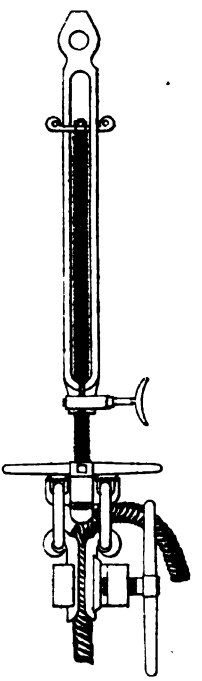


Fig. 93. — Assemblage du câble et de la vis d'allongement.

L'installation très simplifiée comprend un chevalement léger ou *derrick*, et un hangar abritant les appareils de manœuvre. Une locomobile actionne un arbre moteur sur lequel sont montés les organes suivants :

1° Une manivelle percée de plusieurs trous, dans l'un desquels on introduit une broche pour l'assembler à la bielle du balancier; en variant la position de la broche on peut régler la course de ce dernier;

2° Une poulie commandant à volonté par courroie le treuil de levage sur lequel est enroulée la partie non utilisée du câble;

3° Une seconde poulie actionnant par friction un tambour qui reçoit la corde destinée à soutenir la cloche à soupape. On fait passer cette corde en haut du derrick sur une poulie distincte de celle du câble de sondage.

Au début d'un forage, lorsqu'on n'a pas encore successivement adapté à l'outil les diverses pièces qui le composent, on se contente d'enrouler le câble d'un ou deux tours sur le treuil de levage. L'ouvrier le saisit par son brin libre, et alternativement tire sur lui pour le mettre en prise avec le tambour en mouvement et faire remonter l'outil, puis le lâche pour laisser retomber celui-ci dans le trou. On continue ainsi jusqu'à la profondeur d'environ 80 mètres; on sonde ensuite à l'aide du balancier en utilisant la manivelle indiquée plus haut.

Digitized by Google

103 — Ce procédé, lorsqu'on peut y avoir recours, a l'avantage d'être rapide et peu coûteux. Non seulement il allège le poids de la sonde, mais il évite le temps perdu par les montages et démontages de lourdes tiges : bénéfice qui s'accroît naturellement avec la profondeur. Il permet d'ailleurs l'emploi d'un personnel beaucoup plus restreint qu'avec la méthode ordinaire.

En revanche, on subit l'inconvénient de l'extensibilité du câble, qui croît avec la profondeur et supprime toute précision dans l'action, soit pour obtenir la rotation du trépan, soit surtout lorsqu'il s'agit de remédier à un accident. De plus la rectilignité (et c'est là un des plus graves défauts du système) est beaucoup moins assurée qu'avec des tiges guidées.

En fait, le sondage à la corde, souvent admissible avec de très faibles profondeurs, n'est à recommander pour des forages profonds que lorsque les terrains remplissent, comme en Pennsylvanie, la double condition d'être formés de couches sensiblement horizontales, et en général tendres sans être éboulueuses. Pour les autres cas, on peut cependant trouver utilité à s'outiller à la corde en même temps qu'à la tige, afin de gagner du temps par ce procédé dans les passées spéciales pour lesquelles il se trouvera convenir. Nous avons fait remarquer notamment (N° 67) que l'emploi du câble peut être utilement substitué à celui des tiges pour le curage avec la cloche à soupape.

§ 10

RESULTATS ÉCONOMIQUES

104 — *Vitesse.* — L'avancement en vingt-quatre heures est extrêmement variable, lors même qu'on le dégage de l'influence des accidents exceptionnels qui sont de nature à occasionner de longues interruptions. On peut, avec le procédé ordinaire, compter sur $1^m,00$ ou $1^m,50$ et même $1^m,75$ dans un terrain houiller facile, pour des sondages de recherches. Ce chiffre s'abaissera bien entendu beaucoup s'il s'agit du fonçage d'un puits à grand diamètre (N° 370). On y doit voir d'ailleurs moins une constante qu'une fonction de la profondeur ; car il décroît, pour un diamètre donné,

Digitized by Google

au fur et à mesure que la hauteur augmente, à cause de la complication des manœuvres. En revanche on a cité des exemples de vitesses extraordinaires dans des conditions particulièrement favorables [1].

La rapidité augmente beaucoup avec le procédé du sondage au diamant. Les valeurs précédentes ne correspondent plus alors qu'à un minimum. On obtient souvent un avancement moyen de 5 mètres, tout compris. On a même atteint exceptionnellement pour cette moyenne 15 mètres pendant toute la durée du forage de Wallaf (Suède). Le chiffre de 33 mètres en vingt-quatre heures a été réalisé, pour une journée spéciale, par M. Schmidtmann; et enfin l'on est arrivé, dans le South-Wales, à soutenir pendant près d'une demi-heure une vitesse d'environ un millimètre par seconde.

105 — *Prix de revient.* — Il est encore plus difficile de préciser le prix de revient, lors même que, sortant des généralités, on s'occupe d'établir un projet déterminé. Nulle matière en effet ne prête plus à l'imprévu. On n'aurait d'ailleurs pas intérêt, dans un traité passé avec un entrepreneur, à fixer complètement trop de points, car ce dernier y chercherait, ce qui serait bien légitime, à se couvrir contre les plus mauvaises chances, et, les conventions une fois faites, on n'aurait plus à bénéficier des circonstances favorables. Il est raisonnable, en pareil cas, de dégager au contraire l'entrepreneur des pertes susceptibles d'augmenter en quelque sorte sans limites, et de l'intéresser d'avance à la rapidité de l'exécution par des primes convenues, si certaines profondeurs sont atteintes à des époques déterminées. On peut fixer une allocation mensuelle pour l'usage du matériel et la rémunération du personnel spécial envoyés sur place par l'entrepreneur, en lui fournissant en régie des manœuvres pris dans la localité suivant les besoins variables de l'opération.

Si l'on veut cependant donner une idée du prix de revient par quelques indications générales, on peut dire qu'il se tient ordinai-

[1] C'est ainsi que M. de Hulster a réalisé un enfoncement maximum de 23m,50 en 24 heures dans la craie de Quiévrechain. (Habets, *Exposition d'Amsterdam de 1883*, groupe VIII, classe 48, p. 50.)

Digitized by Google

rement entre 200 et 400 francs par mètre courant, pour des hauteurs totales de 200 à 500 mètres. Mais ce chiffre augmente avec la profondeur. Cependant il peut y avoir à cette règle des exceptions, car le sondage de Sperenberg a été poussé jusqu'à 1272 mètres d'après un prix moyen de 171 fr. 80 par mètre, qui s'abaisse même à 167 fr. 30 si l'on en défalque la valeur conservée par le matériel à la fin des opérations.

Dans le bassin du Nord, on a pu traverser le terrain crétacé pour 50 francs par mètre pendant les 100 premiers mètres et 80 francs pour les 100 suivants, ainsi que le terrain houiller à raison de 120 francs pendant les 100 premiers mètres et 150 francs pour les 100 suivants, en augmentant ensuite de 20 francs le prix du mètre courant par chaque centaine de mètres.

M. Jus qui, dans sa longue carrière, a foré près de 22 kilomètres de trous de sonde en Algérie à des profondeurs assez limitées, indique un prix moyen d'environ 70 francs par mètre.

Pour le sondage au diamant, on a souvent traité sur les bases suivantes : 250 francs le mètre pour les 400 premiers mètres, 425 francs pour les 100 suivants, 630 francs pour la centaine suivante, et ensuite en augmentant de 105 francs le prix du mètre courant à chaque centaine de mètres; la Compagnie minière devant en outre fournir à l'entrepreneur les bâtiments, la force motrice, l'eau d'alimentation et le tubage.

Un chevalement de 12 à 13 mètres, avec les constructions qui l'accompagnent, peut coûter de 5000 à 7000 francs, dont un quart environ relatif au premier et les trois quarts à la baraque. L'équipage de sonde proprement dit atteint 2500 francs pour des profondeurs de 30 à 60 mètres; 8000 francs aux environs de 100 mètres; 18000 à 20000 francs dans des recherches telles que celles du Pas-de-Calais [1].

Il est nécessaire de répéter en terminant que nous rencontrerons peu de matières pour lesquelles les chiffres soient susceptibles d'autant d'élasticité, en raison des variations et des inconnues qui pèsent sur l'opération du sondage.

[1] On trouvera plus loin (Nos 112, 113, 114), à l'occasion de l'exploitation du pétrole par le sondage, quelques autres exemples de prix de revient.

Digitized by Google

CHAPITRE V

APPLICATIONS DU SONDAGE

—

§ 1

RECHERCHE DES GITES MINÉRAUX

106 — Nous avons consacré le chapitre précédent à l'étude des procédés du sondage, envisagé en lui-même. Nous arrivons maintenant à la description de ses applications. Elles sont nombreuses et peuvent se ranger sous trois titres généraux : 1° recherche des gîtes minéraux; 2° travaux exécutés à l'intérieur des mines; 3° méthodes d'exploitation spéciales aux gîtes gazeux, liquides ou solubles.

La recherche à l'aide du sondage doit être limitée en principe aux couches homogènes. Un amas irrégulier ou un filon métallique, en raison de leur variabilité d'allure ou de composition, risqueraient de passer inaperçus, au moment où le forage les traverserait.

Un premier moyen d'informations sur la composition du terrain consiste à recueillir avec soin les débris ramenés par la sonde. On les lave et l'on examine les fragments, en observant les poussières fines à la loupe et au microscope.

Quand on veut obtenir des données plus complètes, on retire des témoins, comme nous l'avons déjà vu pour le sondage au diamant. Cette opération peut également s'exécuter avec la méthode ordinaire de la manière suivante.

Digitized by Google

107 — Le sondeur commence par *orienter* le témoin, afin de juger, quand il sera sorti, de la direction et du pendage de la stratification [1]. On descend à cet effet un *trépan excentrique*, dont le corps ne porte qu'une seule lame, fixée à l'une de ses extrémités. On le place dans le plan du méridien astronomique, cette lame marquant le Nord, et on le descend, en empêchant soigneusement toute déviation au moyen d'une moise. Quand l'outil touche le fond, on bat plusieurs coups sans tourner. Après l'extraction du témoin, l'on retrouvera la marque ainsi imprimée sur la roche, pour désigner le point le plus septentrional de ce cercle.

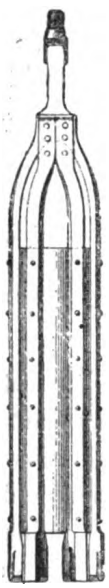


Fig. 94 et 95. Découpeur (élévation et plan).

On descend ensuite un *découpeur* (fig. 94 et 95), destiné à isoler du massif une colonnette centrale, analogue à la carotte qui est réservée par le bit creux. Cet instrument consiste en une couronne portant des trépans sur toute sa circonférence. Le battage se fait comme à l'ordinaire. On effectue le curage à l'aide d'une couronne semblable, munie de petites cloches à soupapes assez étroites pour s'introduire dans le vide ainsi pratiqué.

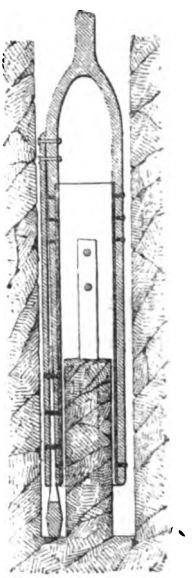


Fig. 96. Emporte-pièce.

On engage enfin l'*emporte-pièce* (fig. 96). Il est formé d'un cylindre, muni d'un coin latéral maintenu entre deux parties qui font ressort. En laissant tomber lourdement le poids, on force le coin dans son logement, ce qui éclate la base du témoin et comprime ce cylindre de manière à permettre de le retirer.

[1] Reumeaux, Sur le matériel des houillères, *Bull. min.*, 3e, III, 373.

Digitized by Google

L'extraction des témoins se modifie dans divers cas particuliers [1]. La *sonde du tourbier*, par exemple, est une petite tarière que l'on enfonce en tournant, et que l'on arrache ensuite de manière à ramener entre ses spires des échantillons du sous-sol.

Pour la recherche des minerais de fer superficiels on emploie une tige pointue, que l'on enfonce à force en refoulant latéralement le terrain. Quand on retire l'instrument, un bourrelet métallique qui surmonte la pointe ramène au-dessus de lui une petite ceinture de terre, propre à renseigner par sa couleur sur la nature du fond que l'on a rencontré.

Les Chinois emploient pour la découverte de l'étain à Bangka une sonde volante appelée *tsham* [2].

Pour la recherche de l'or dans les dépôts qui forment le fond des cours d'eau, on peut se servir de la *pipette Bazin* (fig. 97). Elle se compose d'une capacité ovoïde, fixée au bout d'un manche creux que l'on enfonce dans le terrain détrempé, en tenant son orifice inférieur fermé par une boule. Lorsque l'instrument est parvenu à une certaine profondeur, on déplace cette boule en la tirant à l'aide d'une ficelle. La pression détermine alors l'engouffrement de l'eau, avec une partie des matières environnantes, tandis que l'air s'échappe par un tube de caoutchouc que l'on ouvre en même temps. On retire alors le tout, après avoir remis la boule en place et refermé le robinet de ce dernier tube, afin que la pression atmosphérique aide à maintenir les matières à l'intérieur.

Fig. 97.
Pipette Bazin.

Dans un autre type, M. Bazin isole la pipette de son manche. On la descend au bout d'un tube flexible. Lorsqu'en ouvrant le robinet

[1] M. Trouvé a proposé d'éclairer les couches traversées par la sonde au moyen de son *orygmatoscope*. (*Comptes rendus*, CXI, 341. — *Génie civil*, XVII, 271. — *Lum. élect.*, XXXVII, 539. — *Moniteur industriel*, 11 septembre 1890, p. 293.)

[2] Habets, *Exposition d'Amsterdam de 1883*, groupe VIII, classe 48, p. 38.

Digitized by Google

supérieur, l'opérateur détermine l'entrée des matières, l'affouillement ainsi produit provoque l'enfoncement spontané de la pipette à une petite profondeur ; mais la prise d'essai reste alors plus superficielle qu'avec le mode précédent.

Fig. 98 et 99.
Vérificateur de sondage
(élévation et plan).

Lorsqu'il s'agit d'une roche soluble, telle que le chlorure de sodium, la saveur salée de l'eau révélera sa présence, pourvu que l'on réussisse à retirer un échantillon de cette eau. En l'évaporant à siccité, on pourra d'ailleurs soumettre le résidu à l'analyse. Pour se procurer ce spécimen, le sondeur descend une petite cloche à soupape dont le joint est bien étanche. Il sonne, jusqu'à ce qu'il soit sûr d'avoir expulsé le liquide préalablement contenu, pour le remplacer par celui du fond. Si alors on remonte doucement, cette eau n'aura pas de tendance à se mélanger avec celle des couches traversées, et atteindra le sol avec sa véritable teneur.

108 — Tous les échantillons recueillis sont classés dans une collection géologique, dressée dans le plus grand ordre et cataloguée avec soin. Il est bon, pour prévenir toute erreur de déplacement, de marquer la cote de profondeur, à la fois sur la boîte qui contient les matières et sur les fragments eux-mêmes, quand leur volume permet cette inscription.

On a soin également de tenir un journal du sondage, relatant minutieusement toutes les circonstances qui se présentent, dans l'ignorance où l'on se trouve sur le moment même pour discerner celles qui, actuellement insignifiantes, pourront prendre par la suite un certain intérêt en raison des questions qui viendront à surgir.

Si plus tard ce journal n'est pas suffisamment explicite, et qu'il y ait lieu de revenir sur l'exploration d'un point donné, on

Digitized by Google

emploiera à cet effet le *vérificateur de sondage* (fig. 98 et 99). Il porte deux virgules qui, par la rotation, se piquent dans la paroi en grattant la roche, de manière à en laisser tomber les débris dans une poche placée au-dessous pour les recueillir. En tournant en sens contraire, on fera rentrer les grattoirs dans le corps de l'instrument et l'on pourra sortir l'appareil. On se renseigne ainsi sur ce qui se trouve à la profondeur voulue, en donnant à la sonde exactement cette longueur.

§ 2

TRAVAUX DES MINES

109 — La pratique courante des travaux souterrains d'une mine en activité comporte un grand nombre d'applications du sondage suivant des directions quelconques et non plus seulement verticales. Nous les énumérerons ici, en nous réservant de revenir plus tard sur les plus importantes dans la suite de ce Cours, à l'occasion du genre de travaux ou de dangers auxquels elles se rapportent.

Lorsqu'une exploitation se poursuit au milieu d'anciens travaux mal connus, qui ont légué à l'époque actuelle des réservoirs menaçants d'eaux souterraines, le mineur doit éclairer sa marche au moyen de coups de sonde percés directement à l'avancement, et obliquement sur les deux ailes [1]. Cette opération délicate nécessite de grandes précautions, surtout au moment où il s'agit définitivement de *percer aux eaux*. Nous les décrirons en détail à l'occasion des coups d'eau (Chap. XLVIII).

On se sert également du même procédé pour se préserver de la rencontre subite de réservoirs de grisou ou de mofettes irrespirables, et en vue d'atténuer les dangers de leur invasion.

Parfois aussi, dans ce même ordre d'idées, on emploie les coups de sonde à *saigner* méthodiquement le massif de houille, en lui faisant rendre une grande partie de son gaz avant de procéder à l'abatage en masse.

[1] Henri Glépin, *Sondages intérieurs dans les mines de houille*. (*Rev. univ. d. m.*, 1er, XXX. 1.) — Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 108.

Digitized by Google

Les trous de sonde peuvent encore être utilisés pour faire communiquer avec un étage supérieur le sommet d'un quartier formant *cloche*, afin d'éviter que le grisou ne s'accumule à ce point maximum, en raison de sa faible densité. Il est clair d'ailleurs qu'en raison de la faiblesse du diamètre, ce mode de ventilation ne doit être considéré que comme un expédient pour des cas particuliers, et non comme un élément fondamental de l'aérage général d'une mine.

La même objection peut être opposée à l'emploi des coups de sonde en Westphalie pour mettre en rapports, de distance en distance, les avancements de deux galeries jumelles, percées parallèlement à une faible distance l'une de l'autre, de manière que le courant arrivant par l'une retourne par l'autre, après avoir franchi le massif à travers le dernier trou de sonde, tous les précédents ayant été bouchés successivement. Cette pratique, excellente avec des galeries de recoupe (N° 406), devient nettement insuffisante lorsque l'on substitue à ces dernières l'emploi plus économique du forage.

De même qu'un trou de sonde peut vider vers le haut une poche de grisou, il servira également à évacuer dans un étage inférieur les réservoirs d'eau *en vallée*, de manière à éviter l'installation d'un moyen spécial d'épuisement sur ce point, et à envoyer le liquide au puisard de l'exhaure générale de la mine.

Dans le fonçage des puits *sous stot*, c'est-à-dire suivant la verticale d'un puits déjà en service, mais en réservant entre l'ancienne travée et le percement un stot de roche qui ne disparaîtra qu'au dernier moment, il est utile de se donner au-dessous l'axe du puits, en perçant un trou de sonde à travers le massif.

Nous avons d'ailleurs déjà dit, en ce qui concerne le fonçage des puits, qu'un des moyens les plus remarquables introduits à cet égard, le procédé Chaudron, est fondé sur l'application directe du sondage à grand diamètre (N° 370).

On a employé les trous de sonde dans certains sauvetages, pour établir une communication avec des hommes emprisonnés par un éboulement ou un coup d'eau, dans le but de leur faire passer de l'air, et même des liquides alimentaires.

Digitized by Google

110 — Quant au procédé spécial du sondage au diamant, il figure couramment, réduit à une très petite longueur, dans certaines machines perforatrices, depuis son application par Leschot au forage des trous de mines. Il convient même de dire que tel a été le point de départ de cette belle invention, qui s'est étendue depuis lors aux grandes longueurs verticales en constituant alors le *sondage* au diamant.

Mais, sous la forme même que nous venons de décrire en détail (chap. IV, § 8), cette méthode a été appliquée pour le forage des coups de mine[1] à Pottsville (Pennsylvanie). On y fonçait deux puits jumeaux, en pratiquant les trous de mine dans l'un, pendant que l'on procédait au sautage dans l'autre. On perçait pour chaque fosse 25 trous de 45 millimètres, sur une hauteur de 80 à 90 mètres. Cela fait, on transportait les appareils sur l'autre puits, en remplissant tous les trous de sable. En les dégageant ensuite de proche en proche avec une curette sur la hauteur ordinaire d'un coup de mine, on les chargeait et on les enflammait tous à la fois, à l'aide de l'électricité. Les déblais une fois enlevés, on préparait une nouvelle volée, en extrayant le sable sur la hauteur correspondante. Pendant ce temps, le forage au diamant s'effectuait sans interruption dans le second puits. Cette combinaison offre l'avantage d'une grande rapidité, puisque l'on y rend simultanées deux opérations qui ne peuvent être ordinairement que successives. La même application a été faite, pour un fonçage unique, à Quakers'yard (South-Wales).

§ 5

EXPLOITATION DU PÉTROLE, DU GAZ ET DU SEL

111 — *Pétrole.* — Indépendamment des applications précédentes pour l'exécution des travaux souterrains relatifs à l'aménagement des mines, le sondage peut servir pour l'enlèvement en masse de ceux des gîtes minéraux qui sont susceptibles de prendre

(1) Sauvage, *Annales*, 7e, VII, 22. — Lecornu, *Annales*, 7e, XIV, 334. — *Zeitschrift BHS*, XXIV, 169.

Digitized by Google

la forme fluide, de manière à pouvoir, sous l'influence de forces naturelles ou artificielles, s'écouler tout entiers par le passage qu'on leur aura ouvert. Parfois cette aptitude existera spontanément, comme pour les puits artésiens, les sources de pétrole, les fontaines de gaz. Dans d'autres cas, on n'y arrive que par voie de dissolution préalable, comme pour le sel gemme.

La méthode du sondage est seule employée avec les gîtes de pétrole; mais elle a été appliquée de différentes manières dans les divers pays producteurs (1). C'est aux États-Unis et au Caucase que l'exploitation de cette substance a pris le développement le plus considérable.

112 — En Amérique, il existe de nombreuses régions pétrolifères exploitées, surtout sur le versant occidental des Alleghanys (2). La plus importante de beaucoup se trouve en Pennsylvanie, et sa production s'est élevée en 1891 à 34 millions de barils de 145 kilogrammes chacun. Comme nous l'avons vu ci-dessus (N° 102), la nature des terrains a permis d'y employer le sondage à la corde. Les forages ont en général 8 à 10 centimètres de diamètre à leur base. Ils atteignent, et dépassent parfois 800 mètres de profondeur. On descend le tubage jusqu'au-dessous des couches aquifères, et pour éviter que des eaux d'infiltration ne s'écoulent dans le trou de sonde, on bouche hermétiquement l'intervalle existant entre la partie inférieure du tube et les parois. Dans ce but, on dispose à l'extérieur, soit une garniture en cuir embouti, soit une cou-

(1) Daubrée, *Rapp. du jury internat. de l'Expos. de* 1867, V, 69. — Goulié et Haudoin, *Le pétrole*, in-18. — Gauldrée-Boileau, *Annales*, 6e, II, 95. — Henry, *CRM*, juillet 1877, 16. — Hœfer, *Das Erdöl*, Brunswick, Vieweg, 1888. — Riche, *Rapp. du jury internat. de l'Expos. de* 1889, gr. V, cl. 45, 225, et gr. VI, cl. 51, 497. — Marvin, *Petroleum*, in-8. — Hue, *Aux pays du pétrole*, 1888. — *Génie civil*, III, 605; II, 378, et XI, 370. — Fuchs et Sarrazin, Note sur les sources de pétrole de Campina (Valachie). *Archives des sciences de la Bibliothèque universelle*, févr. 1873, Genève. — *Annales industrielles*, 1884, II, 763. — Dalla Rosa, *Le pétrole en Italie*, in-8°. — Fernand Hue, *Le pétrole*, 1885. — Jaccard, *Le pétrole, l'asphalte et le bitume au point de vue géologique*, Paris, in-8°, 1895.

(2) Hœfer, *Das Petroleum-Industrie in Nord-Amerika*, Vienne, 1877. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XII, 484. — H. Deutsch, *Le pétrole et ses applications*, Paris, Quantin, 1891. — Riche et Roume, *Annales*, 9e, V, 67. — *Génie civil*, XI, 101 et 209; XII, 74; XIII, 83.

Digitized by Google

ronne en toile remplie de graine de lin, dont le gonflement sous l'influence de l'eau procure une obturation complète.

Ces sondages se font presque toujours à l'entreprise. Dans la région de Pittsburgh, ils coûtent en moyenne 15 francs par mètre, non compris le prix de l'outillage; un forage de 6 à 700 mètres ne revient ainsi qu'à 20 000 francs, et se trouve souvent terminé en un mois.

Les puits à pétrole de Pennsylvanie sont quelquefois jaillissants. Le plus fréquemment cependant, on doit extraire le liquide à l'aide d'une pompe (fig. 100), que l'on descend dans le trou de sonde avec son tuyau de refoulement et sa tige de manœuvre. Cette dernière est ensuite actionnée à l'aide du balancier qui a servi au forage.

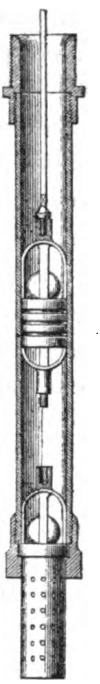


Fig. 100.
Pompe à pétrole.

On observe toujours un abaissement progressif du niveau du pétrole. Certains puits, d'abord artésiens, exigent plus tard l'établissement d'appareils élévatoires. Le débit va lui-même en diminuant. L'exploitant réussit parfois à le ranimer en repassant la sonde, ou en faisant éclater au fond quelques cartouches de dynamite par l'électricité. Quoi qu'il en soit, certaines régions, autrefois activement exploitées, sont aujourd'hui improductives; mais en même temps d'autres centres de production se créent et se développent rapidement. Pendant les deux années 1890 et 1891, on a percé 10 748 puits nouveaux dans les États de New-York et de Pennsylvanie, tandis qu'on en abandonnait seulement 1733 devenus stériles.

Au sortir de chaque puits, le pétrole brut est emmagasiné dans un réservoir en tôle placé à proximité. Les expéditions aux raffineries se faisaient d'abord en barils, puis en wagons-réservoirs ou dans des bateaux-citernes. Depuis quelques années, on a créé des réseaux de conduites, ou *pipe-lines*, qui présentent maintenant un développement considérable, pour conduire le pétrole aux gares de chemins de fer ou aux ports d'embarquement.

Digitized by Google

Ces réseaux comprennent d'abord des tuyaux de 5 centimètres de diamètre en général, qui partent des réservoirs de chaque puits et amènent le liquide (autant que possible par écoulement naturel, ou quelquefois à l'aide de pompes) jusqu'aux stations secondaires. De celles-ci, l'huile est envoyée soit aux gares de chemin de fer voisines, où des râteliers de tuyaux sont disposés pour le chargement simultané d'un grand nombre de wagons-réservoirs, soit aux stations principales, chargées de refouler le fluide dans les grandes artères de la canalisation, jusqu'à des distances de plusieurs centaines de kilomètres. Ces stations, ainsi que celles de relai qui sont établies de distance en distance le long des lignes, sont munies de groupes de réservoirs et de pompes très puissantes. La longueur des sections est de 40 à 50 kilomètres. Ces conduites générales ont 15 centimètres de diamètre. On les nettoie de temps à autre en y introduisant un *passe-diable* ou *go-devil*, sorte de brosse en fils d'acier garnie à sa base d'un cuir embouti; cet engin se trouve entraîné par le courant. Parmi les pipe-lines les plus longues, nous citerons celle qui amène le pétrole de Pennsylvanie jusqu'au port de New-York, sur 714 kilomètres de parcours. En 1892, la longueur totale des pipe-lines en service était de 13 000 kilomètres.

Ces réseaux de conduites appartiennent à quelques Compagnies spéciales, qui se chargent de transporter le pétrole provenant des diverses exploitations. Toute la production d'un même gisement se trouve réunie dans les mêmes réservoirs sans distinction de qualité ni d'origine. L'huile est toujours cotée au même prix quel que soit le puits d'où elle a été extraite. Le réservoir voisin de chaque forage fait l'objet d'un jaugeage contradictoire de la part de l'exploitant et de la Compagnie de transport. Lorsqu'il est rempli, l'on avise la Compagnie, qui en fait alors écouler le contenu dans ses propres bassins, et crédite le propriétaire du volume livré, déduction faite d'une retenue de 3 pour 100 pour pertes et évaporation. Quand le producteur effectue une vente, il n'a qu'à donner l'ordre à la Compagnie de livrer le volume convenu, à tel ou tel point de son réseau de pipe-lines.

113 — Au Caucase, l'industrie des pétroles s'est développée

Digitized by Google

pendant ces dernières années avec une excessive rapidité dans la presqu'île d'Apschéron, près de Bakou, sur la mer Noire[1]. La production de ce district est aujourd'hui égale à celle de la Pennsylvanie. Seulement, tandis que les pétroles bruts américains donnent une proportion de 80 à 92 pour 100 de produits propres à l'éclairage, ceux du Caucase n'en fournissent que 30 à 45 pour 100.

Les terrains de la presqu'île d'Apschéron sont formés de roches peu consistantes, sables et marnes, qui par suite de leur nature ébouleuse rendent les forages plus difficiles qu'en Pennsylvanie. Le sondage à la corde n'y a pas réussi; on y fait usage du procédé ordinaire avec des tiges de fer à section carrée, sans lequel on ne resterait pas suffisamment maître de la direction. La nature de ces couches entraîne aussi d'autres conséquences. Elle oblige à tuber les puits sur toute leur hauteur. Le diamètre, qui est ordinairement de 60 centimètres au début, diminue souvent d'après cela jusqu'à 20 centimètres. Il devient également impossible de *torpiller* le fond des puits à l'aide de cartouches de dynamite, lorsque le débit s'appauvrit; car on provoquerait ainsi des éboulements dangereux. En pareil cas, on se résigne ordinairement à continuer le fonçage pour atteindre une nouvelle couche productrice.

La profondeur des forages est moindre qu'aux États-Unis. Elle varie le plus souvent de 150 à 250 mètres, et ne dépasse guère 300 mètres. Malgré cela, le prix d'un sondage reste sensiblement plus élevé : on doit compter sur une dépense de 80 000 francs au moins pour un puits de 250 mètres. L'avancement moyen est de $1^m,50$ par vingt-quatre heures.

En revanche, les puits de la région de Bakou se caractérisent par la fréquence des fontaines jaillissantes, et par la puissance de leur production; on en comptait en 1890 une vingtaine, dont l'ensemble a donné pendant cette année plus de 800 000 tonnes; l'une d'elles a fourni à elle seule 250 000 tonnes.

[1] Abich, *Comptes rendus*, LXXXVIII, 891. — Colonel Romanowski. *Journal des mines de St-Pétersbourg*, avril 1873. — Boudhinon, *CRM*, 1883, 125 et 173. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XI, 241. — Wassilief, *Ibidem*, 4e, VI, 257. — *Annales industrielles*, 1886, I, 56 et II, 179. — Lonquéty, *Bull. de l'Assoc. amicale de l'Éc. des mines*, 1885, 5. — Stewart, *Rev. univ. d. m.*, 1887, I, 1. — Hœfer, *Œsterreichische Zeitschrift*, 1882, 502. — Leproux, *Annales*, 9e, II, 117. — *Génie civil*, IV, 12 et VI, 96.

Digitized by Google

Le jaillissement est souvent très violent au moment où se termine le forage, et devient quelquefois une cause de ruine pour les installations. Il se continue ensuite soit d'une façon constante, soit par intermittences, en projetant toujours une grande quantité de sables mélangés au pétrole. Au bout d'un temps plus ou moins long, le jet disparaît, et l'on extrait le liquide à l'aide d'un long cylindre en tôle, ou *jelonka*, qui est fermé à sa partie inférieure par un clapet; descendu dans le puits, il s'y remplit de 120 à 160 kilogrammes de liquide que l'on ramène ainsi au jour.

La presqu'île d'Apschéron présentait en 1893 un total de 458 puits en activité, répartis entre 69 exploitations distinctes, avec une production moyenne annuelle de 10 500 tonnes. En principe, on n'exploite pas dans cette région de forages donnant moins de 6 à 18 tonnes par jour. On y a foncé 260 sondages nouveaux en 1892, et 175 en 1893.

La distillation se fait en majeure partie dans les usines voisines de Bakou, distantes des puits de 8 à 12 kilomètres. Les exploitants y transportent leur pétrole au moyen de pipe-lines qui leur appartiennent, ou parfois à l'aide de bateaux.

114 — En Gallicie[1] la région pétrolifère s'étend le long des Carpathes sur un développement de 300 kilomètres. On y emploie le plus souvent pour les forages une méthode qui est également usitée au Canada, et que l'on appelle pour ce motif *système Canadien*. L'installation extérieure diffère peu de celle qui est adoptée dans le mode américain; mais en raison de l'inclinaison et de la nature parfois ébouleuse des couches à traverser, on a substitué au câble des tiges rigides, généralement en bois de frêne, de 5 centimètres de section, dont la légèreté permet des manœuvres beaucoup plus rapides qu'avec des tringles métalliques. Une tige de sonde de

(1) Heurteau, *Annales*, 6e, XIX, 197 et 239. — Windakiewitz, *Berg und Huttenwesen Zeitung*, XXIII, 1. — Piedbœuf, *Rev. univ. d. m.*, 2e, XIII, 57 et 611. — Tweedle, *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, I, 538; *Engineering*, 1886, I, 86. — *Génie civil*, II, 91 et XXIII, 149. — Syroczinski, *Rev. univ. d. m.*, 2e, XVIII, 1, et 3e, IV, 178; *Bull. min.*, 3e, III, 1409; *Chemiker und techniker Zeitung*, 15 févr. 1890. — Hœfer, *Œsterreichische Zeitung*, XLIII. — Ducasse, *CRM*, 1889, 52. — Babu, *Annales*, 8e, XIV, 184. — Walter et Dunskowster, *Das Petroleumgebiet der galizischen Westkarpathen*, 1885.

Digitized by Google

200 mètres est remontée ou descendue en 10 à 12 minutes par des ouvriers exercés. A la partie supérieure, elle est suspendue pour le battage à une vis d'allongement, supportée de son côté par une chaîne qui s'enroule sur l'extrémité du levier (fig. 101), et se trouve retenue par un treuil à cliquet installé sur ce dernier. Cette chaîne permet de descendre progressivement la tige de la longueur d'une barre de frêne. Le système canadien convient bien pour des terrains de dureté moyenne, que l'on peut attaquer en ne soulevant le trépan que de 30 à 40 centimètres.

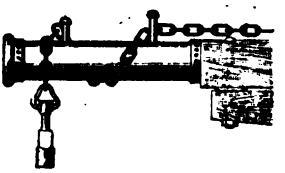


Fig. 101. — Sondage canadien. Chaîne d'allongement.

La profondeur moyenne des forages est de 260 mètres. Quelques-uns atteignent 400 mètres. La vitesse d'avancement (en dehors d'accidents spéciaux) reste voisine de 3 mètres par jour. On compte sur trois mois environ pour exécuter dans ces terrains un fonçage de 300 mètres.

On garnit en général le trou sur toute sa hauteur de tubes en fer étiré, vissés les uns aux autres, et parfaitement étanches. Comme en Amérique, on les munit vers leur partie inférieure d'un cuir embouti, ou d'un *sed-bag* (sac de graine de lin), pour isoler le pétrole des eaux d'infiltration.

Le prix de revient d'un tel forage varie entre 75 et 125 francs par mètre.

Il existe en Gallicie peu de puits jaillissants. L'usage des pompes y est général; souvent une seule machine motrice actionne les engins de plusieurs puits, au moyen de tringles de transmission qui atteignent jusqu'à 100 mètres de longueur.

Le débit moyen d'un trou de sonde n'est que de 4 tonnes par 24 heures. Les plus productifs ne dépassent pas 25 à 30 tonnes. Le pétrole qu'ils fournissent renferme 50 pour 100 environ de matières propres à l'éclairage.

115 — La production des pétroles bruts dans le monde entier s'est élevée, en 1893, à 12 250 000 tonnes environ. Elle provient

Digitized by Google

presque exclusivement des cinq régions suivantes :

États-Unis	7 020 000	tonnes.
Russie	4 840 000	—
Autriche	120 000	—
Canada	116 000	—
Pérou	92 000	—

116 — *Gaz naturel.* — Des sources de gaz hydrogène carboné accompagnent ordinairement celles de pétrole liquide. On rencontre également de telles fontaines dans certaines formations de houille, ou de sel gemme. En Amérique et en Gallicie, on recueille ce fluide en recouvrant la partie supérieure du forage d'une fermeture étanche, dans laquelle pénètre, à travers un presse-étoupe, la tige de la pompe. Le gaz sort du puits par l'intervalle compris entre le tubage et le tuyau de refoulement.

Dans les régions pétrolifères des États de Pennsylvanie, de l'Ohio, de New-York et d'Indiana, un grand nombre de puits ne sont exploités que pour la quantité énorme de gaz qui s'en dégage[1]. Dès 1821, le village de Fredonia (État de New-York) était éclairé à l'aide du gaz naturel. Le développement de l'exploitation du pétrole, à partir de 1859, a eu pour effet de créer de nombreuses fontaines gazeuses. En 1873, on a commencé à utiliser ce produit pour le chauffage des fours métallurgiques; mais ce n'est qu'à partir de 1883 que, grâce à l'installation de canalisations très

[1] Puits de gaz, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, III, 140, 502. — Chance, The anticlinal theory of natural gas, *Trans. americ. min.*, XV, 3. — Du gaz naturel et de ses applications industrielles, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XII, 420. — Le gaz naturel aux États-Unis, *Annales industrielles*, 1886, I, 177; *CRM*, 1894, 134; *Mémoires des ingénieurs civils*, septembre 1885, 349; mars 1887, 465; *Société des ingénieurs allemands*, 5 février 1887. — Emploi du gaz naturel comme combustible aux États-Unis, *Revue des questions scientifiques de la Société de Bruxelles*, dixième année, 297. — Grosclaude, Captage du gaz naturel aux États-Unis, *Génie civil*, XV, 60. — Le gaz naturel en Pennsylvanie, *Bull. Soc. d'enc.*, 5e, III, 94. — Vossian, Découverte et emploi du gaz naturel en Pennsylvanie. *Bull. du min. des travaux publics*, septembre 1886, 278. — Utilisation du gaz naturel à Pittsburg, *Génie civil*, XIII, 300. — Explosion et incendie de gaz naturel à Murrayville, *Génie civil*, IX, 109. — Fontaines de gaz du Michigan, *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, II, 249. — Ashburnes, Natural gas in the eastern Ontario, *Trans. americ. min.*, 1887. — Boudhinon, *CRM*, 1883, 175. — Père Coldre, Les salines et les puits de feu de la province du Se-Tchoan. *Annales*, 8e, XIX, 461.

Digitized by Google

étendues, son emploi s'est réellement développé. Depuis cette époque il s'est substitué progressivement à la houille, notamment en Pennsylvanie, pour l'éclairage des villes, le chauffage des chaudières, et dans toutes les forges, aciéries et verreries.

Le gaz naturel de ces régions contient 50 à 90 pour 100 de méthane, une proportion plus ou moins grande d'autres carbures d'hydrogène, de l'azote et un peu d'acide carbonique. On le trouve dans des couches sableuses ou gréseuses, surmontées d'assises imperméables d'argile ou de schiste argileux. Les puits les plus productifs sont ceux qui aboutissent au sommet des selles. Au début d'une exploitation, la pression est en général très élevée : 25 à 30 kilogrammes en moyenne; elle a même atteint 50 kilogrammes. Toutefois elle va constamment en diminuant, non seulement pour chaque puits, mais aussi dans l'ensemble de chaque district exploité.

Au sortir des sondages, le gaz naturel est envoyé jusqu'aux foyers d'utilisation dans des tuyaux de tôle ou de fonte. Lorsque sa tension est trop forte pour l'usage auquel il est destiné, on fait usage de détendeurs de pression. Si au contraire elle est trop faible pour amener le gaz en quantité convenable sur les lieux de consommation, on installe sur le parcours des conduites une ou plusieurs stations de compresseurs. Parfois, quand la force élastique initiale s'est beaucoup abaissée, on établit à l'orifice des forages des pompes aspirantes et foulantes; mais on risque de provoquer ainsi le tarissement des puits à gaz environnants, ou même des rentrées d'air à travers les plus voisins.

Malheureusement les gisements de gaz des États-Unis semblent tendre à s'épuiser, malgré les mesures un peu tardives qui ont été prises depuis quelques années pour éviter le gaspillage et diminuer les pertes de gaz inutilisé. La consommation, qui était évaluée en 1889 à 15 milliards de mètres cubes pour l'ensemble des États-Unis, n'y dépassait plus guère la moitié de ce chiffre en 1891. On substitue maintenant le pétrole au gaz dans les fours et les foyers d'un grand nombre d'usines.

117 — *Exploitation du sel par sondage.* — Le chlorure de

Digitized by Google

sodium est souvent exploité en roche, sous le nom de *sel gemme*, à l'aide de travaux souterrains qui constituent une mine ordinaire, bien que présentant des caractères assez spéciaux. Le produit ainsi obtenu est purifié par voie de dissolution et d'évaporation. On extrait également le sel des sources salées naturelles, ou des eaux de la mer. Mais on utilise d'autre part à cet effet les procédés du sondage, soit pour atteindre des nappes d'eaux salées naturelles que l'on exploite comme les gisements de pétrole, soit pour faire pénétrer jusqu'aux couches de sel gemme des eaux pures, que l'on retire ensuite chargées de sel en dissolution [1].

Ces deux derniers systèmes sont employés dans le département de Meurthe-et-Moselle concurremment avec l'exploitation souterraine, pour extraire le sel d'un puissant gisement qui se trouve intercalé dans l'étage des marnes irisées. Le plus souvent on y exploite par dissolution la couche supérieure, que l'on attaque à l'aide de trous de sonde tubés sur toute leur hauteur. Les tuyaux sont percés de trous, tant au niveau de la couche de sel qu'à la hauteur des nappes souterraines d'eau douce traversées par le forage. Quand l'eau de ces niveaux est peu abondante, on en introduit par la partie supérieure du tubage. Une pompe est installée dans le puits. Son tuyau d'aspiration descend jusqu'au point le plus bas que l'on se propose d'exploiter dans le gisement, et enlève la *saumure*, qui se réunit par sa densité à la partie inférieure. Le tuyau de refoulement déverse ce liquide au-dessus du sol à une hauteur suffisante pour qu'il puisse ensuite, par la seule action de la pesanteur, traverser tous les appareils où se développent les diverses phases de l'évaporation.

Au début la teneur de la dissolution extraite est faible, par suite du peu d'étendue de la surface de sel qui se trouve en contact avec l'eau; mais la salure s'accroît progressivement à mesure que s'agrandit dans la couche la chambre d'érosion. La saumure retirée des puits contient finalement de 240 à 320 kilogrammes de sel par

[1] Exploitation du sel par sondage, *Génie civil*, IX, 403; XV, 169. — Le sel gemme et le pétrole en Roumanie, *Ibidem*, III, 605. — Les salines et les puits de feu du Se-Tchoan, *Annales*, 8e, XIX, 463. — Cousin, *Note sur l'industrie minérale dans le département de Meurthe-et-Moselle*. — Bruno Kerl, *Grundriss der Salinenkunde*, 1868.

Digitized by Google

mètre cube. Ce dernier chiffre correspond à la saturation, qui est rarement atteinte. On peut enrichir la dissolution, avant de la traiter, en la faisant passer sur les blocs de sel gemme les plus impurs que fournissent les travaux souterrains souvent associés à cette exploitation.

La production des puits se trouve quelquefois suspendue par des éboulements des chambres d'érosion, qui détériorent le tubage. L'opération doit d'ailleurs être arrêtée dès que l'on peut craindre que ces chambres aient atteint des dimensions suffisantes pour provoquer des affaissements à la surface. Ceux-ci, lorsqu'ils viennent à se produire, sont en général lents et progressifs, mais la dénivellation qui en résulte a parfois atteint 2 mètres. Les puits doivent donc être placés à une distance assez grande des bâtiments et des voies de communication à protéger. On tient compte à ce point de vue de ce que les chambres d'érosion, ainsi que les affaissements qui en sont la conséquence, affectent approximativement en plan la forme d'une ellipse dont le grand axe coïncide avec la ligne de plus grande pente des couches de sel, et qui s'étend beaucoup plus en amont qu'en aval des sondages.

Au procédé précédent, on a dans certains cas substitué le forage de deux trous de sonde distincts, situés à une certaine distance l'un de l'autre. L'eau pure descend alors par l'un des puits et remonte dans l'autre à l'état de saumure, après avoir, dans l'intervalle, traversé la formation souterraine.

Il arrive quelquefois que les sondages rencontrent dans le toit des gisements salifères des venues d'eau salée naturelle que l'on extrait à l'aide de pompes, ou qui viennent se déverser au jour comme l'eau des puits artésiens. Lorsqu'il en est ainsi, le liquide s'étant saturé de sel loin du sondage, les couches ne sont plus dissoutes dans son voisinage, et l'on n'a plus à craindre au même degré des affaissements du sol environnant ou des éboulements dans le puits. Toutefois on ne peut compter sur cette circonstance favorable que si l'on est certain qu'aucune venue d'eau pure des terrains supérieurs ne pénètre jusqu'à la couche à travers le forage.

Dans la province de Sé-Tchoan (Chine), les sondages ainsi pratiqués en vue de l'extraction d'eau salée naturelle fournissent souvent

Digitized by Google

aussi du gaz, que l'on utilise directement pour le chauffage des chaudières à évaporation[1].

§ 4

PUITS ARTESIENS

118 — *Puits jaillissants.* — Tous les gîtes minéraux, solides ou fluides, sont limités et voués à un épuisement final, plus ou moins prochain suivant l'activité du système d'exploitation auquel on les soumet. Il faut cependant enregistrer à cet égard une exception unique pour les *puits artésiens*. Elle concerne des *gîtes d'eau*, inépuisables dans toute la rigueur du terme, en dehors d'accidents fortuits, car ils se renouvellent incessamment par le jeu d'une force permanente, l'insolation, qui, reprenant indéfiniment l'eau à la surface des mers, l'élève dans les nuages, d'où elle se trouve précipitée sur la surface terrestre, et de là dans les conduits d'infiltration.

La connaissance des fontaines jaillissantes[2] remonte à une

(1) Coldre, *Annales*, 8e, XIX, 462.

(2) Arago, Notice sur les puits artésiens, *Annuaire du Bureau des longitudes*, 1835. — Garmès, *De l'art du fontainier sondeur et des puits artésiens*, 1821. — Viollet, *Théorie des puits artésiens*, 1840. — Viollet, Formule pour le mouvement de l'eau dans un puits artésien, *Bull. Soc. d'enc.*, 1re, XXXVII, 84. — Dickinson, *Traité sur les sondages artésiens*, 1826. — Puits artésiens, *Bull. Soc. d'enc.*, 1re, XXI, 73 ; XXV, 345 : XXVIII, 38, 60, 69, 568 ; XXIX, 478 ; XXX, 38 ; XXXII, 174. — Bonariva, *Les forages artésiens pour la recherche des eaux jaillissantes*, Bologne, 1886. — Michel, Note relative au calcul des débits des puits artésiens obturés, *Annales des ponts et chaussées*, 1866. — Dumas, Rapport sur les puits artésiens de Paris, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XI, 76. — Huet, Note sur le puits artésien de la Chapelle, *Comptes rendus*, CVII, 150. — Le nouveau puits artésien de la place Hébert, *Bull. du minist. des trav. pub.*, 1888, 343. — Berbrugger, *Puits artésiens des oasis méridionales de l'Algérie*, 1851. — Fournel, Sur la possibilité d'établir une chaîne de puits artésiens entre Biskra et Touggourt. *Comptes rendus*, XX, 170. — Dubocq, Mémoire sur la constitution géologique de l'Oued-Rir, au point de vue des eaux artésiennes, 1853. — Ville, Puits artésiens de l'Oued-Rir, *Annales*, 6e, V, 177, 345, 401. — Ville, *Puits artésiens des provinces d'Alger et d'Oran*, 1876. — Jus, *Les oasis de l'Oued Rir*, 1880. — Chesnel, Les puits artésiens de la province de Constantine, *Génie civil*, 1882, n° 7. — Le bassin artésien du Bas-Sahara (Rolland, *Chemin de fer transsaharien*, III, 53). — Vatonne, *Annales*, 6e, IX, 333. — Héricart de Thury, *L'art du fontainier sondeur*, 1829. — Degousée et Laurent, *Guide du sondeur*, 1861. — Roman, *Nouveau manuel du sondeur, du puisatier et de l'hydroscope*. — Daubrée, *Les eaux souterraines*, I, 156. — Dupuit, *Traité de la conduite et de la distribution des eaux*, seconde édition, § 44. — Darcy, *Les fontaines de Dijon*, 137. — *Bull. de*

Digitized by Google

haute antiquité. Diodore de Tarse en mentionne l'existence en Égypte dès le IVe siècle après Jésus-Christ. L'explication de ce curieux phénomène a été donnée en 1694 par Bernardini Ramazzini. Le nom de puits artésiens dérive de celui de la province d'Artois, où ils se sont multipliés en raison de la configuration géologique de cette région. Leur forage a pris de tous côtés beaucoup d'importance, soit pour vivifier des contrées stérilisées par l'absence d'eau, comme le Sahara Algérien (1), soit pour venir en aide à l'alimentation des grandes villes (2), pour le captage d'eaux minérales (3), la création d'industries locales (4), la production de force motrice (5), d'électricité (6), et même le chauffage des ateliers ou des habitations (7).

l'Assoc. scientif. de France, n° 460, p. 332. — Van Dijk et Ermeling, *Rapport sur le sondage à vapeur pour la recherche d'eau potable à Java*, Batavia, 1872. — Dru, *Rapport sur les eaux minérales du Caucase*, 1884. — De Nansouty, Cuvelage filtrant les eaux troubles, *Génie civil*, XIII, 390. — Bruckmann, *Anleitung zur Anlage artesischer Brünnen*, 1838. — Bruckmann, *Artesische Brünnen*, 1851. — Szigmondy, *Die artesische Brünnen*, 1878.

(1) Dans l'espace de vingt-quatre ans, de 1856 à 1880, le nombre des oasis de l'Oued-Rir s'est élevé de 29 à 37; le chiffre de la population, de 6 672 à 12 827; et la valeur estimative des palmiers, de 1 300 000 à 4 127 000 francs. Ces puits présentent une particularité des plus curieuses. Ils rejettent fréquemment des poissons, des crustacés et des mollusques vivants : chromis, cyprinodons, etc. On en a d'ailleurs trouvé également dans les oasis égyptiennes ainsi que dans une source jaillissante d'Elbeuf. (Rolland, *Hydrologie de l'Algérie*. — Élisée Reclus, *Géographie universelle*, XI, 352. — Berbrugger, *Les puits artésiens des oasis de l'Algérie*.

(2) Un puits creusé à Pesth atteint 970 mètres de profondeur. Il fournit par jour 760 mètres cubes d'eau, à 74 degrés centigrades. (*Annales*, 7e, XV, 635; — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VI, 270; — *Jahrbuch d. k. k. Geol. Reichanstalt*, XXVIII, fasc. 4.)

Le puits de la Chapelle, à Paris, a 677 mètres de hauteur et 1 m. 30 de diamètre à la base. Son forage a duré vingt-quatre ans. Sur cette durée, onze années ont été employées à détruire une colonne de 120 mètres de tuyaux tombée au fond. La température des eaux est de 30 degrés. (Huet, *Comptes rendus*, CVII, 150.)

(3) Laur, *Sondage de Montrond*. (*CRM*, 1860, 197.)

(4) L'un des grands puits artésiens de Paris, situé boulevard de la Gare, n° 123, a été foré pour la raffinerie de M. C. Say, sur un diamètre variant de 66 à 49 centimètres et une profondeur de 580 mètres. Trois nappes jaillissantes donnent ensemble par minute, à 9 mètres au-dessus du sol, 4 400 litres d'eau à 28 degrés centigrades.

(5) Degousée et Laurent, *Manuel du sondeur*, 2e édit., pl. XL, fig. 2. — *Moniteur industriel*, 23 août 1888, p. 267. — *Annales industrielles*, 9 septembre 1888, p. 326; 7 octobre 1888, p. 454. — *Mémoires des ingénieurs civils*, 1889. — Pellissier, *La Nature*, 27 octobre 1894, p. 341 et 585.

(6) Carré, Production d'électricité par les puits artésiens, *Lum. élect.*, XXX, 440. — Les puits artésiens et la lumière électrique. *Lum. élect.*, XXIX, 491; XLVIII, 499.

(7) *Bull. Soc. d'enc.*, 1re série, XXX, 38. — A Buda-Pesth, le puits artésien fournit de l'eau à 74 degrés pour des lavoirs et des bains publics.

Digitized by Google

119 — Supposons que, dans une contrée dont la surface topographique sera représentée théoriquement par le plan incliné A′A″ (fig. 102), une couche perméable B′BB″ (sable, calcaire fendillé, craie blanche, grès vert, etc.) soit comprise entre un toit et un mur

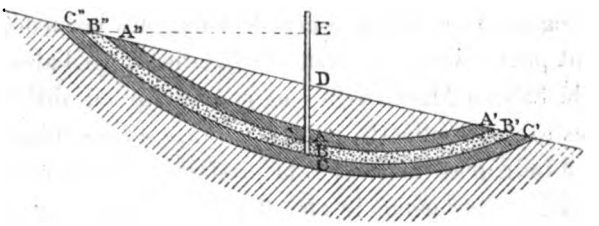


Fig. 102.

imperméables (argile, marne, etc.). La partie supérieure B″ des affleurements recevra les eaux atmosphériques, qui satureront cette couche sans pouvoir s'en échapper, si ce n'est le long des affleurements inférieurs B′, où se dessinera une ligne de sources.

Si l'on venait à pratiquer en un point intermédiaire D un trou de sonde CD, en le prolongeant pour plus de clarté par un tube extérieur DE au-dessus du sol, on verrait l'eau prendre dans ce tube un certain niveau E, indiquant la pression à laquelle elle se trouve soumise dans le fond D. En supposant les affleurements calfeutrés dans toute leur étendue, sauf le point le plus élevé B″ pour l'introduction des eaux du ciel, le point E, dans cet état statique, se trouverait exactement dans le plan horizontal de B″. Si alors on enlevait subitement le tube DE, l'eau jaillirait par l'orifice D jusqu'à une hauteur qui ne différerait de ce niveau que par l'influence de la résistance de l'air et de celles qu'opposent à l'écoulement les conduits souterrains destinés à fournir au débit de ce jet.

120 — Pour étudier ce phénomène, rappelons le théorème de Daniel Bernoulli qui régit, dans les conditions les plus générales, le mouvement d'un filet liquide sous l'action de la pesanteur [1]. Il consiste en ce que la fonction suivante conserve une valeur con-

[1] Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, I, 29.

Digitized by Google

stante en tous les points du canal parcouru par l'eau :

$$(1) \qquad \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\varpi} + z + \frac{1}{\varpi}\int_0^s \frac{r}{\omega}\, ds = \text{const.}$$

Le symbole s désigne la longueur comptée sur la trajectoire depuis une origine fixe O jusqu'à un point variable M (fig. 103), z l'altitude du centre de gravité de la section de la veine en ce point au-dessus d'un plan de comparaison, ω l'aire de cette section, p la pression en son centre de gravité, v la vitesse, r la résistance en ce point rapportée à l'unité de longueur, $\varpi = 1000$ le poids spécifique de l'eau, $g = 9{,}8088$ l'accélération de la pesanteur.

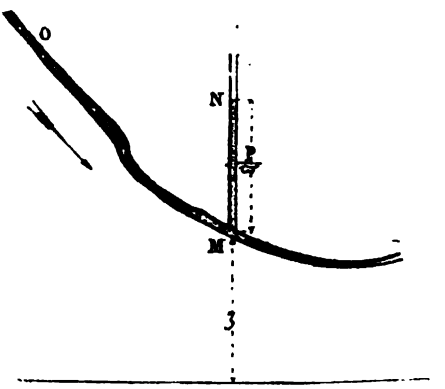


Fig. 103.

Je rappelle en outre l'équation de continuité[1] :

$$(2) \qquad q = \omega v,$$

fournissant le débit q qui traverse la section dans l'unité de temps : et enfin l'expression de la résistance[2] :

$$(3) \qquad r = \varpi \chi f(v),$$

dans laquelle χ représente le périmètre de la section ω, et f une fonction susceptible de diverses formes empiriques, qu'il est inutile d'énumérer ici. Son caractère essentiel est d'être croissante en même temps que la variable.

(1) Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, I, 17.
(2) *Ibidem*, I, 113.

Digitized by Google

Si l'on substitue cette valeur de r dans la relation (1), et qu'on y remplace en même temps v par sa valeur déduite de l'équation (2), il viendra :

$$(4) \qquad \left(\frac{p}{\varpi} + z\right) + \frac{q^2}{2g\omega^2} + \int_0^s \frac{\chi}{\omega} f\left(\frac{q}{\omega}\right) ds = \text{const.}$$

Cette formule détermine l'altitude $\frac{p}{\varpi} + z$ du *niveau piézométrique* N (¹) qu'atteindrait l'eau stagnante, dans un tube que l'on élèverait au point M pour mesurer, à l'aide de cette colonne d'eau $\frac{p}{\varpi}$, la pression développée dans le canal en ce point. Cette altitude se trouve, comme on le voit, exprimée pour un débit donné q en fonction des seuls éléments géométriques du canal, à savoir : la distance s qui caractérise le point variable M, l'aire ω et le périmètre χ de la section en ce point.

121 — Élevons par la pensée un tube piézométrique sur chaque point des canaux d'alimentation qui sillonnent la nappe aquifère. Le lieu géométrique de leurs sommets dessinera la *surface piézométrique* du bassin, dont il nous faut envisager les relations avec les deux autres : la *surface topographique* et la *surface aquifère*. La seconde se trouve à ciel ouvert, la troisième est essentiellement souterraine; quant à la surface piézométrique, elle peut s'étendre au-dessus ou au-dessous du sol. Elle ne saurait rencontrer la surface aquifère, puisqu'elle en est partout séparée par la distance verticale $\frac{p}{\varpi}$ qui ne peut devenir négative; mais rien ne s'oppose à ce qu'elle coupe la surface topographique, en passant du dessus en dessous ou réciproquement. Leur ligne d'intersection prend alors une grande importance. Elle répartit la carte géographique de la contrée en deux sortes distinctes de zones, que l'on peut s'y représenter, pour plus de clarté, comme teintées de deux

(¹) Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, I, 26

Digitized by Google

nuances différentes. J'appellerai *positives* celles dans lesquelles la surface piézométrique s'élève au-dessus du terrain, et *négatives* celles pour lesquelles elle plonge au-dessous du sol. La courbe d'intersection qui les limite devient ainsi la *ligne de partage hydrologique* de la région, pour le point de vue spécial qui nous occupe.

La conclusion est maintenant facile à formuler. Tout sondage foré dans une zone positive donnera lieu à un *puits artésien*. Tout fonçage exécuté sur une zone négative fournira un *puits ordinaire à eau*, dans lequel le liquide se maintiendra à une certaine distance au-dessous du sol.

122 — Reprenons, par exemple, l'hypothèse dans laquelle la ligne d'affleurement de la couche aquifère serait calfeutrée dans toute son étendue, sauf le point le plus haut; la surface piézométrique, dans cet état de repos, se réduira au plan horizontal mené par ce point. La ligne de partage sera dès lors la courbe de niveau de la contrée pour cette cote d'altitude, et les régions positive et négative se trouveront limitées par elle, comme l'océan est séparé de la terre ferme par un rivage horizontal.

Si maintenant nous supprimons subitement cette fermeture, ou si l'on vient à ouvrir un ou plusieurs puits artésiens en des points intermédiaires, il s'opèrera dans l'ensemble une mise en mouvement. On verra naître un régime essentiellement variable, lequel ira sans cesse en s'éloignant de l'état initial, défini tout à l'heure, et tendra de plus en plus vers un certain type limite.

Dans la réalité, la fixité de ce type théorique sera encore troublée par certaines variations étrangères inhérentes aux saisons, qui, par le jeu des pluies, des sécheresses, des fontes de neige, viendront modifier dans une mesure importante le mode d'alimentation, et par suite le régime souterrain. On comprend donc que cet état de choses est lui-même variable, et que la ligne de partage hydrologique, au lieu de constituer un élément fixe de la carte, comme par exemple les lignes de faîte ou de thalweg, reste susceptible d'osciller entre certaines limites, en faisant varier avec elle l'étendue respective des zones positive et négative dont elle établit la séparation.

Digitized by Google

Néanmoins, après avoir indiqué l'existence de ces perturbations, nous allons les écarter de nos raisonnements, pour élucider les lois du phénomène, et nous nous supposerons à cet égard parvenus à un état limite qui subsiste indéfiniment. Ces lois, fort simples, consistent dans la série des énoncés suivants.

123 — *Le niveau statique de l'eau dans le puits est indépendant du diamètre.*

En effet, si l'on applique l'équation (4) aux filets qui *passent* à la base du puits sans y entrer, pendant qu'on le maintient sans écoulement en le surmontant pour cela d'un tube suffisamment long, elle déterminera pour eux en ce point une certaine pression p, qui ne dépend nullement de la section de ce manomètre.

124 — *Le débit du puits, à un niveau variable au-dessus du sol, augmente si l'on abaisse l'orifice d'écoulement.*

Appliquons en effet l'équation (1) depuis une origine O quelconque prise sur un filet élémentaire, *jusqu'à l'orifice même du tube vertical maintenu en état d'écoulement à un niveau arbitraire*. Lorsque l'on abaisse cet orifice en supprimant une portion du tube, on fait ainsi disparaître une partie des éléments de l'intégrale, tous essentiellement positifs; on restreint donc sa valeur. On diminue de même z. Quant à p, il conserve la même valeur, à savoir celle de la pression barométrique, puisqu'on arrive toujours à l'air libre. Il s'ensuit que v doit augmenter. Mais d'ailleurs ω garde la même valeur dans l'équation (2), attendu que le tube vertical est cylindrique; donc q s'accroît lui-même.

A cet égard, deux cas peuvent se présenter dans l'exploitation des sources minérales. Si l'eau ainsi obtenue est surabondante pour les baigneurs et l'embouteillage, on fera bien de profiter de sa force ascensionnelle pour relever le niveau et diminuer d'autant le travail des pompes. Si au contraire le liquide possède une grande valeur commerciale, il vaudra mieux en augmenter le débit en abaissant le point d'émergence.

125 — *Le débit augmente avec le diamètre du puits, mais non pas proportionnellement à sa section.*

Digitized by Google

Que le débit total augmente, si l'on agrandit le puits, ou si l'on en fore un second dans un voisinage tout à fait immédiat, c'est l'évidence même, puisqu'on ouvre ainsi un débouché plus facile, ce qui ne saurait réduire l'écoulement.

Mais ce serait une erreur de penser que si l'on double la section, on doublera par cela même le débit, comme semblerait l'indiquer l'équation (2), d'après laquelle q est proportionnel à ω, si v reste constant. Nous allons voir en effet que la vitesse v qui s'établit *dans le tube vertical agrandi*, aura diminué par le fait de cet agrandissement.

Pour le reconnaître, appliquons l'équation (1) depuis l'origine O prise sur un filet souterrain *jusqu'à un point* M *situé dans le tube vertical très près de son pied*, mais cependant assez avant pour se trouver déjà dans la partie où le mouvement s'effectue par filets parallèles, et d'une manière uniforme d'après la constance de la section. L'altitude z ne change pas quand on remplace ce tube par un plus grand, p reste égal à la somme de la pression atmosphérique qui s'exerce sur la surface libre, et du poids de la colonne hydrostatique, d'unité de section, située entre l'orifice et le pied du puits. En effet, le mouvement rectiligne et uniforme qui règne dans cette partie est soumis aux lois de l'équilibre, c'est-à-dire de l'hydrostatique. Mais d'autre part l'intégrale a augmenté, comme je vais le faire voir, et dès lors il deviendra évident que v a dû diminuer au point M, ainsi que nous l'avons annoncé.

Le motif qui accroît alors la valeur de l'intégrale consiste en ce que, pour que le tube agrandi débite plus que l'ancien, il faut, puisque les canaux d'alimentation n'ont pas changé de forme, que la vitesse y augmente. Mais alors, dans chacun des éléments de l'intégrale, r prend d'après son expression (3) une valeur plus grande, puisque v y reçoit de son côté une valeur supérieure dans la fonction f, qui est croissante.

On remarquera avec soin cette opposition dans la variation des vitesses, qui diminuent dans le tube vertical, tandis qu'elles augmentent dans les canaux souterrains.

126 — La loi d'hydrologie souterraine que nous venons d'éta-

Digitized by Google

blir prend une importance très grande dans la question du fonçage des avaleresses qui donnent une grande quantité d'eau (N° 341). Si, en effet, après avoir garni toute la section disponible du puits avec les engins les plus puissants qu'il soit possible d'y concentrer, on ne parvient pas à maîtriser les eaux par une activité suffisante de ces machines, il reste encore la ressource de percer un second puits à une très faible distance du premier. Le débit total augmentera par là, il est vrai, ainsi par conséquent que les frais occasionnés par cet épuisement. Mais ce n'est pas en ce moment la question décisive. Il s'agit de franchir *à tout prix* le niveau aquifère[1]. L'essentiel, à ce point de vue, est que, d'après la théorie précédente, le débit ne sera pas double du précédent, tandis que la section, se trouvant doublée, permettra de doubler également la puissance des moyens d'action mis en jeu et de dominer peut-être la venue d'eau.

On doit également se pénétrer de cette même vérité, en ce qui concerne le captage des eaux souterraines. Le périmètre de protection des eaux minérales [2] a pour but d'empêcher qu'un forage, inconsidérément exécuté dans le voisinage d'une source qui intéresse la santé publique, n'en dérange le régime d'une manière fâcheuse. C'est pour un motif de même nature que, lorsque fut élaboré le projet de sondage artésien de La Chapelle, à Paris, on décida de traverser le grès vert avec un tubage, sans en recueillir les eaux, pour ne pas affaiblir le débit du puits de Passy, et d'aller à un niveau inférieur chercher des nappes aquifères jurassiques.

127 — *Le débit augmente souvent, quand on vient à tuber un puits qui ne l'était pas.*

On supprime en effet par là les pertes produites par des couches perméables, qui empruntent pour leur part une portion des eaux artésiennes soulevées par la pression inférieure.

Inversement, le débit peut baisser avec le temps si le tubage se perce par l'oxydation, en permettant par là des infiltrations dans

(1) Il ne faut d'ailleurs pas perdre de vue que l'on aura utilisé une grande partie de l'accroissement de dépenses, en dotant ainsi l'exploitation future de deux *puits jumeaux* au lieu d'un seul.

(2) Loi du 14 juillet 1856, art. 2 et suiv.; décrets des 8 septembre 1856 et 11 avril 1888.

Digitized by Google

des couches perméables adjacentes. En pareil cas, le remède consiste à retirer ce tube et à le remplacer par un autre, établi dans de meilleures conditions de durée.

Cependant on ne doit le faire qu'après s'être assuré que la diminution de débit ne tient pas à une obstruction partielle, due à un corps étranger qui serait tombé par l'orifice, ou se serait détaché d'une partie de la paroi laissée sans revêtement. Dans ce cas, au contraire, ce qu'il y aurait à faire consisterait à repasser la sonde pour détruire cet obstacle, après toutefois qu'on aurait essayé d'ébranler le corps et de le détacher au moyen de coups de bélier, que l'on détermine en ouvrant et fermant brusquement l'orifice d'écoulement.

Pour se fixer à cet égard, il suffira d'exhausser le tube de manière à y laisser l'eau prendre son équilibre. Il est clair que l'obstruction partielle ne saurait troubler en rien son niveau, qui sera par conséquent resté le même qu'auparavant; tandis qu'une perte en route aura pour résultat de l'abaisser. Si, en effet, quand on ouvre une fissure, le liquide, jusque-là immobile dans le tube, en sort pour passer à l'extérieur, c'est qu'il y trouve une pression moindre que celle que marquait son niveau hydrostatique.

128 — *Pour les puits rapprochés de la mer, le débit peut varier aux diverses heures du jour.*

En effet, si la couche aquifère affleure sous l'océan[1], la colonne piézométrique qui la surmonte varie en ce point suivant l'heure de la marée. Cette altération exerce naturellement un retentissement jusqu'à une certaine distance dans les canaux souterrains, en y modifiant le jeu des pressions, et avec lui la surface piézométrique qui règle le niveau de l'eau dans les colonnes ascendantes. La ligne de partage hydrologique se déplacera donc elle-même, en balayant une certaine zone, qui appartiendra alternativement aux régions positive ou négative. Il arrivera, d'après cela, pour les puits qui se trouveraient forés dans cette bande spéciale, qu'ils ne seront jaillissants que par intermittences.

[1] Les marées souterraines. (*Revue d'astronomie populaire*, 1886. — *Bull. de l'Association scientifique de France*, 19 décembre 1886, p. 170.)

Digitized by Google

On a observé des influences de ce genre à Noyelle-sur-Mer, et à l'hôpital militaire de Lille où le puits artésien suit, à huit heures de distance, les oscillations de la marée [1].

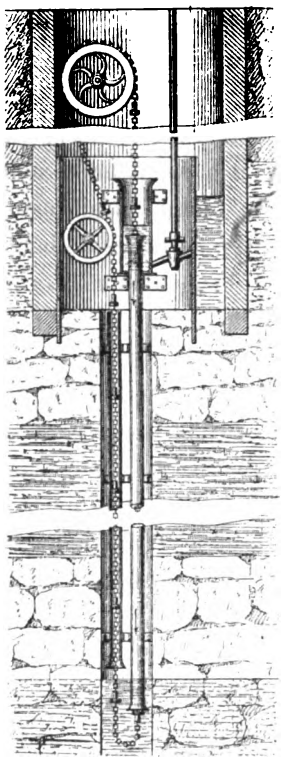


Fig. 104. — Boitout moteur.

129 — *Puits absorbants.* — Lorsque le niveau statique des puits se tient au-dessous du sol, leur usage le plus fréquent est de permettre d'y puiser de l'eau au moyen d'appareils élévatoires, ordinairement des plus élémentaires. Mais, dans le cas où le banc aquifère est nettement perméable, on peut les transformer en *puits absorbants* [2] en y versant des eaux gênantes de la surface, pour les perdre dans cette couche souterraine. Ces organes, que l'on appelle aussi *boitouts*, rendent de réels services industriels; mais ils ont ordinairement une durée plus éphémère que celle des puits artésiens, les substances introduites par les eaux tendant à encrasser l'entrée des canaux élémentaires, qui jouent à leur égard le rôle de filtre [3] en arrêtant dès l'abord les matières étrangères.

130 — On a également appliqué les boitouts à la création de

(1) Vézian, *Prodromes de Géologie*, II, 657.

(2) Puits absorbants, *Bull. Soc. d'enc.*, 1re série, XXXII, 174. — Flamant, Écoulement à travers des terrains perméables, *Hydraulique*, 334, 338.

(3) Cependant on peut citer, comme exemple du contraire, les forages absorbants à l'aide desquels la plaine des Paluns, qui formait un marécage voisin de Marseille, a été assainie il y a quatre siècles, sous le règne du roi René. Ils fonctionnent encore aujourd'hui, et on leur attribue la production des sources jaillissantes du port de Mion. près Cassis.

Un boitout a été foré à Juvisy pour assécher une exploitation de meulières. (Colomer, *Bull. de l'Assoc. amicale des Élèves de l'École des mines*, janvier 1895, p. 13.)

Digitized by Google

forces motrices[1], à la vérité sur l'échelle la plus modeste, mais cependant capable de rendre encore quelques services. Le principe consiste (fig. 104) à engouffrer des eaux de surface jusqu'à une couche absorbante, en utilisant cette chute artificielle au moyen d'un chapelet hydraulique ou d'une fontaine de Héron, disposés dans le trou de sonde. Le travail recueilli est transmis au dehors par les organes ordinaires, ou encore sous la forme d'air comprimé, si l'on emploie la fontaine de Héron.

On a pu ainsi, dans des exploitations agricoles, actionner des machines à battre, ou élever jusqu'au sol, au moyen d'un double tubage, des eaux meilleures pour la consommation que celles dont on se débarrassait par l'engouffrement. On peut même, quand on rencontre une couche aquifère, mais non artésienne, et plus bas une couche absorbante, laisser descendre dans cette dernière une partie du débit de la précédente, en utilisant son travail pour remonter le surplus jusqu'à la surface.

(1) Les premiers essais à cet égard sont dus à Flachat, en 1828. Ils ont été repris par MM. Mignon et Rouart. et rendus définitivement pratiques par M. Henriau. (Haton de la Goupillière, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, III, 1.)

Digitized by Google

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE

ABATAGE

CHAPITRE VI

ABATAGE A LA MAIN, A L'EAU, AU FEU

§ 1

TRAVAIL A LA MAIN

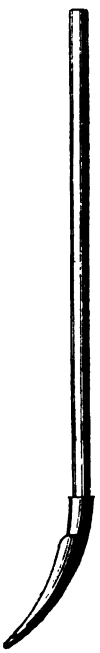
131 — *Instruments de chargement.* — Les moyens dont dispose le mineur pour attaquer la roche sont excessivement variés, mais on peut les rattacher à cinq modes essentiels : le travail à la main, à l'eau, au feu, à la poudre ou par l'emploi des moteurs mécaniques : air comprimé, eau sous pression, électricité.

Le *travail à la main* consiste dans l'intervention de la seule force musculaire de l'homme [1], sans le secours d'aucun agent étranger. Les outils dont il se sert pour cela doivent être entretenus en très bon état. Le *rendement* du piqueur se ressentirait bien vite de la moindre négligence à cet égard. Leur structure, les matériaux dont ils sont formés doivent être combinés avec intelligence, de manière à en diminuer le poids, à économiser les efforts, et à

[1] A côté du travail de l'homme, on peut citer l'exemple des animaux employés à désagréger, avec la charrue, certains placers aurifères ou platinifères de Sibérie. (Callon, *Cours d'exploitation des mines*, I, 232.)

Digitized by Google

les faire tendre le plus directement possible au but proposé. C'est ainsi, par exemple, que l'acier se substitue de plus en plus au fer, sauf dans les instruments qui n'agissent que par leur masse, en vue d'obtenir à résistance égale plus de légèreté.



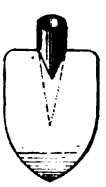


Fig. 105 et 106. Pelle (élévations latérale et antérieure).

Les outils du mineur se rattachent à deux buts différents : l'attaque du massif et le chargement des fragments dans les véhicules. Les premiers sont extrêmement variés, pour mieux s'adapter aux circonstances si diverses de l'abatage. Les instruments de chargement, au contraire, se réduisent à un très petit nombre, en raison de l'uniformité des conditions de leur emploi ; toutes les différences originelles disparaissant, une fois que la matière a été ameublie. Quelques mots suffiront pour ce qui les concerne.

On commence, s'il y a lieu, par rassembler les matières avec un *râble* ou un *râteau*. Puis on les reprend [1] avec la *pelle* (fig. 105, 106). Celle-ci peut être de forme trapézoïdale, ogivale ou arrondie. Quand on doit travailler dans l'eau, on adopte quelquefois la forme d'une grille, pour laisser filtrer le liquide, qui sans cela entraîne inévitablement les matières par son écoulement sur des surfaces pleines. Une nervure prolonge la douille, afin de donner de la résistance au corps de la pelle. Cette douille est située à peu près dans le même plan, et munie d'un manche court pour les travaux souterrains, dans lesquels l'ouvrier se trouve resserré. Elle s'assemble au contraire sous un angle de 135° à un manche notablement plus long, pour le terrassier qui travaille debout.

[1] On facilite beaucoup le pelletage lorsqu'il est possible d'effectuer la tombée des fronts de taille, ou le déchargement des wagonnets sur des plaques de tôle. Le fer de la pelle y glisse aisément, au lieu de se piquer dans le sol ou d'y frotter péniblement. En outre les matières restent plus propres.

Digitized by Google

132 — La pelle change de nature, et devient en même temps un outil d'attaque, dans certains terrains sans dureté. On emploie par exemple de cette manière la pelle ogivale dans le sable, la bêche pour des terres plus fortes, les *louchets* (1) dans la tourbe (N° 595).

Le petit louchet (fig. 107, 108) est une sorte de bêche munie d'un *aileron* latéral. La tourbe étant déjà dégagée sur deux faces verticales, le tourbier enfonce son instrument de manière à séparer la *pointe* de tourbe du massif suivant deux autres faces parallèles aux premières; puis, par un mouvement de bascule, il détache cette pointe de sa base, la soulève et la dépose sur la berge ou dans une brouette. Ce travail se fait à sec, et sur $0^m,30$ environ de hauteur.

Fig. 107 et 108. Petit louchet (élévation et plan).

Le grand louchet (fig. 109, 110) sert à travailler en eau profonde, en enlevant à la fois trois ou quatre pointes, c'est-à-dire un prisme de $0^m,90$ à $1^m,20$ de hauteur. La manœuvre d'un pareil poids est facilitée par le principe d'Archimède, pendant qu'il est immergé. Mais sa sortie de l'eau devient plus difficile. Elle exige à la fois de l'adresse chez le tourbier, pour faire basculer son instrument sur le rivage, et en même temps une solidité suffisante dans le louchet. Aussi les trois faces de tôle qui emprisonnent le prisme de tourbe sont-elles entretoisées; la douille de fer est allongée, et munie en outre d'un long manche de bois.

Fig. 109 et 110. Grand louchet (élévation et plan).

133 — *Instruments du terrassier.* — Le *terrassier*, dont l'office

(1) Millot, *Bull. Soc. d'enc.*, 1re série, V, 180. — Gillet Laumont, *Ibidem*, 329. — Jullien, *Ibidem*, VIII, 203, 271 ; IX, 201. — Molard, *Ibidem*, XXIII, 121.

Digitized by Google

est de remuer les terres à ciel ouvert, possède un matériel fort simple d'outils d'attaque.

Le principal est la *pioche* (fig. 111). L'une de ses extrémités est en forme de pointe, et destinée aux terrains caillouteux; l'autre présente, pour les sols argileux, un tranchant situé dans un plan perpendiculaire à celui de l'instrument. Ces deux parties s'équilibrent mutuellement, de manière que l'outil soit mieux en main, le centre de gravité se trouvant sur le manche. Elles présentent une courbure circulaire, afin que la pioche puisse entrer facilement plusieurs fois de suite dans la même fente, que l'on approfondit par des coups successifs. Le cercle est en effet la seule courbe plane capable de glisser sur elle-même, par une rotation autour de son centre de figure.

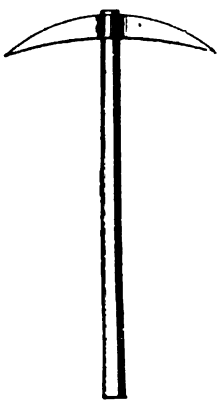


Fig. 111. — Pioche.

La douille est tronc-conique et a sa petite base placée dans la concavité du fer. Le manche y étant introduit de ce côté, on éclate son extrémité au moyen de gros clous dans la partie renflée, de manière à l'empêcher de ressortir. La section du bois est un peu elliptique, pour qu'il ne tourne pas dans la main. L'extrémité présente parfois un bourrelet, afin que l'outil ne puisse s'échapper en glissant. Le frêne convient très bien pour cet office.

Quand le terrassier n'a pas assez de force, dans sa position normale, pour déchausser un caillou de son alvéole, il engage sous l'obstacle la pointe de la pioche et, appuyant le pied sur le tranchant opposé, il fait levier avec le poids de son corps.

134 — On emploie également les *pinces*. On appelle ainsi de simples barres de fer, affûtées en pointe. L'ouvrier les enfonce verticalement en les soulevant et les laissant retomber par leur poids, jusqu'à ce qu'elles soient engagées sur une certaine hauteur, à une petite distance du bord d'un gradin. A ce moment, se plaçant un peu en arrière, il pousse horizontalement sur la

Digitized by Google

pince, afin de faire éclater et chavirer le parement du terrain.

Les *coins* sont de simples bûchettes de bois (fig. 112) présentant une pointe ferrée, et frettées à la tête, pour ne pas se fendre sous les coups que l'on y assène avec une *masse* de fer (fig. 113). On les enfonce en ligne parallèle au bord d'un gradin, de manière à le faire éclater, ainsi qu'il vient d'être expliqué à propos de la manœuvre des pinces.

Fig. 112. Coin du terrassier.

Fig. 113. Masse.

Dans l'un et l'autre cas, on facilite l'opération en minant le gradin à sa base, à l'aide de la pioche, en forme de *sous-chevage*, de telle sorte que la partie supérieure se trouvant en porte-à-faux au-dessus du vide, son poids vienne en aide aux efforts que l'on exerce pour détacher le bloc du massif adhérent [1].

Ce mode de travail économise la main-d'œuvre, en évitant de désagréger aussi complètement la masse. Les blocs se fragmentent par leur chute même, et il devient plus facile de compléter cette subdivision, de manière que les plus gros blocs puissent être chargés à la main, et le reste à la pelle.

135 — *Instruments du piqueur.* — L'ouvrier mineur est souvent appelé *piqueur*, parce que son instrument essentiel est le *pic* (fig. 114, 115). On distingue le *pic au rocher* du *pic à la veine* qui est employé dans le charbon. Le premier est plus lourd, sa tête est plate et peut servir de masse, à la manière d'une massue. Le *pic à deux pointes* permet de faire double besogne, avant de renvoyer l'outil à la forge pour le recharger d'acier. On emploie aussi le *pic à pointes mobiles*, celles-ci pouvant être assemblées et désassemblées

[1] C'est au point que cette opération est souvent interdite par les règlements locaux relatifs aux carrières, en raison des dangers d'éboulement auxquels elle expose les ouvriers. Parfois même l'autorité préfectorale interdit le front de taille *à pic*, et réglemente les dimensions des gradins qui devront remplacer les hautes parois verticales. Elle exige souvent que le terrain superficiel sans consistance, ou certains *mauvais lits* soient préalablement enlevés par un avancement qui précède la taille principale de la masse utile aquelle pourra peut-être alors, s'il y a lieu, être exploitée verticalement.

Digitized by Google

par rapport au corps de l'instrument. Ce dernier n'a plus alors besoin d'être transporté hors du chantier, et les pointes dont le piqueur possède un assortiment retournent seules à la forge [1].

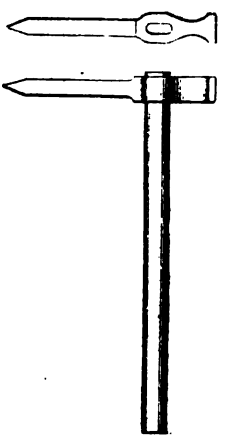


Fig. 114 et 115. — Pic (plan et élévation).

Le pic présente une certaine analogie de forme avec la pioche, mais le *piquage* de la houille diffère absolument du travail du terrassier. Celui-ci détruit toute la masse, tandis que le piqueur désagrège le moins possible. C'est à la fois en vue de réduire au minimum le travail moléculaire de désorganisation à demander aux forces de l'homme, et aussi pour laisser le plus de marge possible à la production du *gros*, qui a une plus grande valeur commerciale que le *menu*. Cette dernière sorte, en effet, se prête moins bien à la combustion, en entravant la circulation de l'air dans sa masse compacte [2]; en outre elle se perd plus facilement au chantier par filtration dans les remblais, et peut ensuite y fermenter, s'y échauffer et provoquer l'incendie [3].

136 — Le piqueur attaque son *front de taille* comme pour en détacher intact un parallélépipède rectangle. Le massif étant libre en avant, on y exécute trois coupures, à savoir : un plan horizontal par dessous, appelé le *havage*, dont la profondeur varie de $0^m,50$ à 1 mètre, et même $1^m,50$ de profondeur; en outre deux plans verticaux latéraux, nommés *rouillures*. On introduit alors quelques coins *en couronne*, pour aider le poids du bloc à le détacher suivant le plan horizontal du *plafond*, en l'arrachant en même temps du *massif* suivant une face postérieure, qui formera après la tombée le nou-

(1) *Bull. min.*, 2e, IV, 551. — *Rev. univ. d. m.*, XXVII, 305.

(2) C'est pour ce motif que l'on agglomère en briquettes les menus de charbon, de carbonate de fer, de résidus de pyrites fournis par l'industrie de l'acide sulfurique, etc.

(3) Il faut toutefois mentionner à titre d'exception, absolument rare, certains anthracites durs, tels que ceux de la Mayenne, pour lesquels la méthode d'exploitation tendrait plutôt à la production du menu. (Dorlhac, *Bull. min.*, 2e, VII.)

Digitized by Google

veau front de taille. Si, au contraire, la matière manque de consistance pour se maintenir jusqu'à l'achèvement de ces préparatifs, on la soutient provisoirement sur des cales ou des tasseaux passés dans la *sous-cave*.

Pour pratiquer les rouillures, le piqueur procède par éraflures successives, en abattant de petits fragments suivant deux lignes verticales rapprochées, et faisant éclater leur intervalle par écailles, sur une largeur qui permette la pénétration du pic dans la fente verticale.

Pour le havage, il met un genou en terre et lance son pic dans le plan horizontal rasant le sol, à la fois par la force des bras, et aussi en poussant le bras avec l'autre genou. On profite, s'il y a lieu, de la présence de lits schisteux friables, appelés *havrits*, pour y pratiquer cette coupure Quand il s'agit de la pousser profondément, on emploie la *rivelaine* (fig. 116), sorte de pic à deux pointes très plates, adapté à un long manche, à l'aide duquel on gratte dans le fond de la sous-cave. Cet instrument atteint $1^{m},80$ de longueur ; chiffre qui s'abaissera jusqu'au tiers de cette valeur pour des chantiers bas.

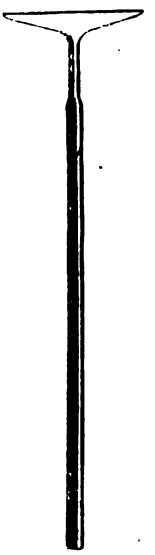


Fig. 116.
Rivelaine.

137 — Dans les cas exceptionnels où la puissance du gîte

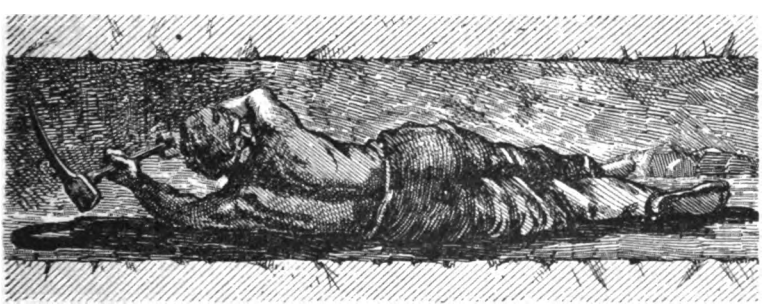


Fig. 117. — Travail à col tordu.

diminue outre mesure, le mineur travaille couché sur le côté, ou, suivant l'expression reçue, *à col tordu* (fig. 117), comme dans les schistes

Digitized by Google

cuivreux du Mansfeld ou certaines tailles basses du Nord et de la Belgique. Il a soin de s'attacher sous la cuisse et l'épaule gauches des planchettes destinées à le garantir autant que possible du contact immédiat de la roche froide et humide.

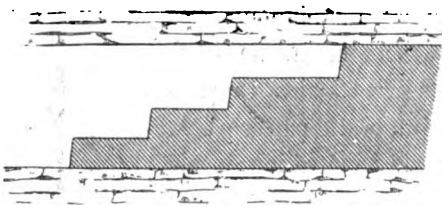
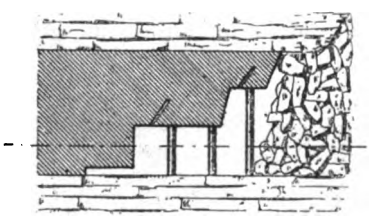


Fig. 118. — Gradins droits.

Quand, au contraire, la hauteur du chantier devient trop considérable, on la fractionne en *gradins*. La hauteur de chacun d'eux doit être en rapport avec les facilités du travail de l'homme. Elle présente par suite un certain degré de constance. La longueur de la plate-forme dans le sens de l'avancement pourra, au contraire, varier arbitrairement, et sera proportionnée à l'importance de l'équipe installée sur chaque gradin, de manière que celle-ci puisse s'y développer à l'aise, et que ces divers postes ne se gênent pas les uns les autres.



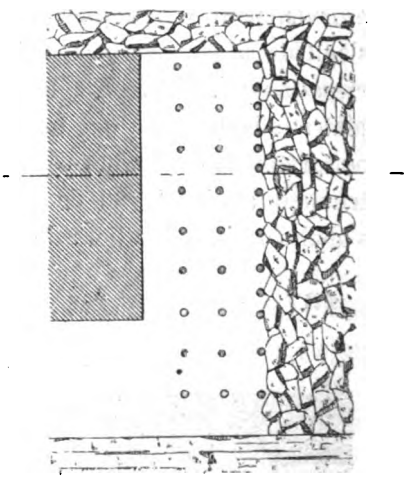


Fig. 119 et 120. — Gradins renversés (coupes verticale et horizontale).

On distingue deux sortes de gradins : les gradins droits et les gradins renversés.

Les *gradins droits* (fig. 118) sont disposés comme les marches d'un escalier, dont ils ne diffèrent que par leurs dimensions considérables. On doit éviter autant que possible ce dispositif pour la houille, qui serait détériorée par le piétinement des hommes.

Digitized by Google

Cependant on en rencontre des exemples en Westphalie, ou dans les mines d'anthracite de Pennsylvanie. Le véritable emploi de ce type se restreint aux matières pierreuses ou métalliques.

Les *gradins renversés* (fig. 119, 120) se dessinent, non plus dans la sole que l'on a sous les pieds, mais au plafond qui se trouve au-dessus de la tête. Quand la hauteur n'est pas inabordable et que le manque de solidité l'exige, on soutient les divers gradins sur des buttes ou étançons. Les piqueurs attaquent de front les gradins inférieurs. Ils montent sur des échelles, ou s'échafaudent de diverses façons pour atteindre ceux de la couronne.

138 — Outre le pic, le mineur emploie aussi les *coins*. Mais ces derniers diffèrent de ceux du terrassier. Ils sont plats et entièrement métalliques (fig. 121); on les bat à la *massette* (fig. 122).

Fig. 121. Coin de fer.

Fig. 122. Massette.

On assemble souvent les coins au nombre de trois, ou plus, en introduisant d'abord dans un trou de mine rond, foré à l'aide des procédés que nous décrirons pour le tirage à la poudre, deux coins *demi-ronds*, puis entre eux un ou plusieurs *plats-coins*, que l'on y chasse à grands coups de masse. Ces derniers, en dehors du travail d'écartement qu'ils déterminent, ne rencontrent, comme obstacle à la pénétration, que le frottement d'acier sur acier, lequel est notablement moindre que le frottement exercé sur la roche brute avec le mode ordinaire. Cet ensemble porte le nom d'*aiguille-coin* ou *aiguille infernale* (*Federkeil*) [1]. Sa puissance est d'autant plus grande que les faces opposées des plats-coins forment un angle plus aigu. Cette inclinaison mutuelle s'abaisse parfois à 2 pour 100.

On a soin de pratiquer au préalable une sous-cave, de manière à faire abatage sur ce vide pour faciliter l'éclatement de la roche.

On dispose aussi ces aiguilles en sens contraire, en introduisant

[1] *Bull. min.*, 3e, II, 317. — Coins Elliott, *Rev. univ. d. m.*, 3e, I, 33. — Albert Frajois, Coins multiples, *CRM*, 1895, p. 83.

Digitized by Google

un coin dans le trou, la tête la première, et l'attirant vers l'ouverture au moyen d'une vis puissante, à laquelle il est relié et qui

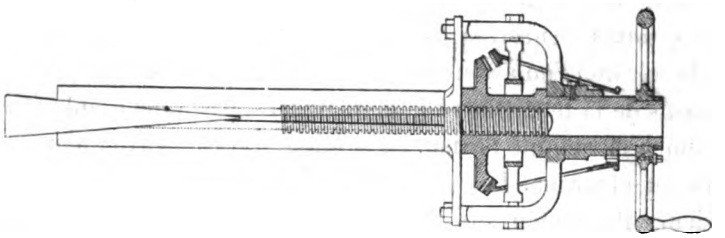


Fig. 123. — Coin à vis.

prend son point d'appui sur l'orifice du trou. Plusieurs dispositifs ont été combinés dans ce sens [1]. La figure 123 représente celui de M. Levet [2].

139 — Pour les matières les plus dures, le travail au pic deviendrait impuissant, et l'on en était réduit, avant l'introduction de la poudre dans les mines, à l'emploi de la *pointerolle* (fig. 124). Elle ne sert plus aujourd'hui qu'exceptionnellement, pour dresser exactement certaines portées essentielles, que l'on ne veut pas ébranler par l'action des explosifs.

Fig. 124. Pointerolle.

La pointerolle n'est autre chose qu'un *ciseau*, que l'on munit d'un manche pour qu'il soit plus facile à tenir. On l'ajuste d'une main sur le point précis d'où l'on veut détacher un fragment, et de l'autre on frappe sur la tête avec une massette.

On reconnaît là un mode tout différent du piquage. Il se rapproche plutôt en principe du travail du terrassier,

(1) Par MM. Cochrane, Degheye, Demanet, Guibal (*CRM*, novembre 1877, 10; mai 1880, 97. — *Rev. univ. d. m.*, 1871, 154; 1877, 129. — *Annales des trav. publ. de Belgique*, XIV, 510; XXI, 113. — PA. Angl. 278. — Alfred Evrard, *Traité pratique de l'exploitation des mines*, I, 104). — Appareil Walcher pour l'abatage de la houille (*CRM*, 1887, 68. — *Bull. min.*, 3e, I, 767. — *Rev. des quest. scientif. de la Soc. de Bruxelles*, 20 octobre 1888, 643).

(2) *CRM*, 1880, 97. — Modification du coin à vis de Levet, par Burnett. Le frottement de glissement s'y trouve remplacé par celui du roulement au moyen de rouleaux en acier interposés entre les joues et le coin. *Rev. des questions scientifiques de la Société de Bruxelles*, 15 avril 1887, p. 668.

Digitized by Google

puisqu'au lieu d'isoler un bloc important, on se voit obligé de tout détruire dans l'étendue du vide à produire. Il faut même reconnaître que la désagrégation est poussée ici beaucoup plus loin que dans le premier cas. Il est donc facile de comprendre combien ce genre de travail est long et dispendieux, et l'on ne peut se défendre d'un véritable étonnement en retrouvant, dans certaines mines, des travaux effectués à la pointerolle par les anciens mineurs sur d'immenses étendues.

Le ciseau s'émoussant très vite, l'ouvrier en possède un assortiment qu'il apporte au chantier, enfilés dans une chaînette, pour les emmancher les uns après les autres (fig. 125).

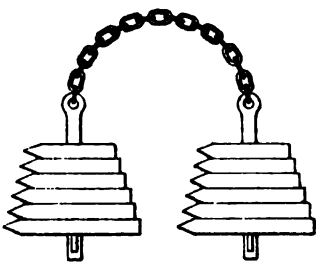


Fig. 125. — Assortiment de pointerolles.

Mentionnons encore l'emploi de la *scie* (1) et du *fil hélicoïdal* (2) dans certaines carrières de marbre, de jaspe, etc., pour détacher, sans les détériorer, des blocs d'une plus grande valeur marchande. On exploite de même la glace dans les glaciers de la vallée de Joux (3).

140 — Avec un certain nombre de roches, la trituration du massif dégage des poussières très nuisibles à l'ouvrier, soit par leur abondance, comme dans quelques houillères ou pour la préparation du tripoli de Menat (Puy-de-Dôme), soit par leur forme anguleuse qui déchire les poumons, comme pour les exploitations de meulières, soit enfin par leur nature toxique comme dans certains filons d'arsenic, de plomb, de cuivre, de mercure, etc.

On a imaginé, pour y obvier, des masques destinés à forcer la respiration à traverser une éponge mouillée ou une couche de ouate qui retiennent ces poussières. Malheureusement les ouvriers résistent obstinément à l'emploi de ces préservatifs, très gênants, et s'en débarrassent dès que l'on cesse d'exercer à cet égard une

(1) Parfois de scies circulaires à diamants.
(2) *Génie civil*, VII, 381 ; XIII, 250.
(3) *Ibidem*, XIII, 337.

Digitized by Google

stricte surveillance. Il convient de dire cependant que ces appareils ont reçu récemment de notables perfectionnements [1].

141 — Je compléterai cette description du travail manuel par le tableau suivant [2], destiné à faire connaître, pour les outils les plus importants, leurs dimensions, leurs poids et leurs prix. A ce dernier élément il faut toutefois ajouter à part le prix du manche, qui est d'environ 0 fr. 25 pour les pelles et 0 fr. 22 pour les pics.

OUTILS	LONGUEUR DU FER	LARGEUR DU FER AU CORPS	POIDS	PRIX
	millim.	millim.	kilogr.	francs
Pelle de terrassier	460	460	3,50	2,30
Pelle de mineur au rocher	440	430	3,15	2,05
Pelle de mineur au charbon	350	310	2,00	1,30
Pioche de terrassier	600	60 sur 12	5,00	4,75
Pic au rocher (pointe aciérée)	330	28 sur 22	1,70	1.35
Pic au charbon (pointe aciérée)	280	28 sur 15	0,95	0.75
Pic au charbon (2 pointes aciér.)	330	27 sur 15	1,00	1,00
Rivelaine (2 pointes de 0m,140)	150	32 sur 10	1,50	1,50
Aiguille au rocher (pointe de 0m,075)	185	37 sur 30	1,00	0,65
Aiguille au charbon (— de 0m,155)	355	50 sur 23	2,00	1,30

§ 2

TRAVAIL PAR L'EAU

142 — *Action statique.* — L'eau est un agent très souple et doué de nombreuses propriétés, qui ont permis de fonder sur son emploi un grand nombre de procédés d'attaque. Elle est répandue partout, et facile à trouver pour un genre d'applications qui n'exige d'ailleurs aucune pureté spéciale. En revanche elle est incommode,

(1) Detourbe, Masque respirateur, *Bull. Soc. d'enc.*, 8 mars 1895. — *Génie civil*, XXIII, 163; XXVI, 155, 169; XXVII, 240. — Rapport de M. Bérard sur les appareils respiratoires de M. Detourbe et de M. Détroye. *Bull. Soc. d'enc.*, 5e, I. 12. — Bricogne, Avantages d'un bon masque respirateur. *Génie civil*, XXVIII, 234.

(2) Dressé à l'aide des documents insérés par M. Pernolet dans l'Agenda Dunod pour les mines, 1882. p. 48.

Digitized by Google

salissante. Elle expose, en délayant le terrain, à des éboulements analogues à celui de Varangéville, que nous décrirons plus tard. Dans tous les cas, il reste nécessaire, une fois qu'elle a rempli son office, de la sortir au dehors par des moyens artificiels d'épuisement, si la mine ne possède pas une galerie d'écoulement naturel.

L'eau peut être employée d'après divers modes d'action : statique, dynamique, physique, chimique et organique.

L'*action statique*, c'est-à-dire la pression, a été mise en œuvre dans un grand nombre d'appareils [1]. L'un des plus satisfaisants

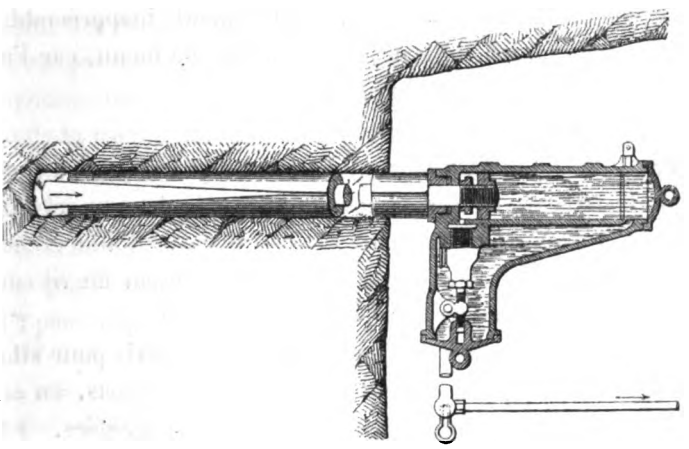


Fig. 126. — Coin hydraulique de Levet.

paraît être le levier hydraulique Levet [2]. Il se compose (fig. 126) d'une aiguille infernale dont on tire au dehors le coin central, non plus comme ci-dessus (N° 138) à l'aide d'une vis, mais par la pression hydrostatique que subit un piston. A cet effet l'on injecte sur sa face interne, avec une petite pompe de compression, de l'eau que l'on prend sur l'autre face, et qui pénètre par un conduit oblique dans la région où puise la pompe. La tige du piston qui tire le coin

(1) Bidder et Jones, Chubb, Davies, Dingly et Ackers, Elliott, Grafton, Grinder, Guibal, Mac-Dermott, Tangye, Williams.

(2) Bélier hydraulique Levet et Fournier, *CRM*, novembre 1877, avril 1878, p. 86; 1881, p. 37. — De Sinner, *Les remplaçants des explosifs dans les mines à grisou.* — L'eau employée comme explosif, *CRM*, 1886, p. 98.

Digitized by Google

est guidée par le fond du cylindre, qu'elle traverse dans un cuir embouti. En cas d'insuccès, on n'a qu'à frapper sur la tige du piston, après avoir soulagé la pression; l'aiguille rentre en dedans, et l'on peut retirer le système. Il existe plusieurs modèles de cet appareil. Le moindre d'entre eux arrive à développer un effort de trente tonnes.

Cette action semble moins économique que le tirage à la poudre, mais elle présente sur lui des avantages qui pourront être décisifs dans des cas spéciaux. Elle ne risque pas d'enflammer le grisou : elle n'occasionne pas de projections, attendu que l'eau perd immédiatement sa tension après un déplacement inappréciable des molécules; on obtient plus de gros et moins de menu, car l'action est plus mesurée et moins brutale.

143 — *Action dynamique.* — L'action dynamique, ou l'utilisation de la force vive préalablement accumulée dans un jet d'eau, a figuré en Angleterre pour enfoncer des pieux de fonte creuse, en entraînant le sable au-dessous de l'axe du pieu par un vif courant qui sort sous pression de son intérieur (1).

M. Bergeron a également proposé (2) de s'en servir pour attaquer les bancs de sable qui tendent à encombrer les ports, en entraînant, au moyen de l'eau lancée, les matières désagrégées.

L'extracteur Bazin exerce un appel sur les matières meubles, sables ou vases, du fond des rivières ou des ports, à travers un tube dans lequel on détermine un courant très énergique au moyen d'une pompe à force centrifuge. On recueille même parfois à l'orifice de ce tuyau des galets de la grosseur du poing, qui attestent la puissance de cette succion (3). Les bateaux extracteurs du port de Saint-Nazaire (4) opéraient d'une manière analogue, mais en reje-

(1) Stœcklin et Vétillart, Nouveau système de fonçage des pieux par injection d'eau, *Annales des Ponts et chaussées*, 1er décembre 1878, p. 74. — Vernist, Laville et Bernard, Fonçage des puits par injection d'eau sous pression, *Génie civil*, VIII, 172. — Ludovic Breton, Creusement des puits dans les sables par injection d'eau comprimée. (*Bull. min.*, 2e, XV, 109) — *CRM*, 1886, p. 32.)

(2) *Bulletin de l'Association française pour le progrès des sciences*, 1878, 197.

(3) *Génie civil*, II, 420; — Collignon, *Bulletin de la Société philomathique*, 1873, 103.

(4) Leferme, *Annales des Ponts et chaussées*, 1869, mémoire n° 227.

Digitized by Google

tant les matières au-dessus de la ligne de flottaison, au lieu de les faire déboucher à fond de cale en profitant de la charge d'eau en ce point.

On trouverait également une action analogue dans la *pompe à sable*, qui a été employée en Amérique pour les fouilles du pont Saint-Louis sur le Mississipi ([1]). Mais je n'insisterai pas davantage, afin d'en arriver en particulier aux applications de l'action dynamique de l'eau pour le dépècement des gîtes minéraux.

L'abatage par l'eau figure dans les exploitations malaises des alluvions stannifères de Malacca ([2]). L'ouvrier creuse, au sein du gisement, des fossés dans lesquels on fait circuler l'eau. Ce courant tend à ronger les berges, qu'on y abat progressivement, de manière à déterminer un lavage grossier propre à enrichir le minerai, en raison de la très grande densité de l'étain oxydé.

L'emploi de la force vive de l'eau a pris un instant en Californie un développement extraordinaire ([3]), au moyen d'appareils qui portent le nom de *géants*. J'aurai occasion de décrire avec détails, dans la quatrième partie de ce Cours (N° 588), ce mode d'exploitation ([4]) pour lequel je me borne en ce moment à une simple mention.

144 — *Action physique.* — L'action physique fait intervenir l'influence de la congélation, qui dilate le volume de l'eau avec une puissance irrésistible ([5]). Ce procédé, naturellement limité

([1]) Travaux publics des États-Unis en 1870, rapport de mission de M. Malézieux, 87.

([2]) Rapport inédit de J. Errington de la Croix sur les mines d'étain de Perak (Péninsule malaise).

([3]) Sauvage, *Annales*, 7e, IX, 1. — Exploitations hydrauliques de Californie, *Annales industrielles*, 1885, I, 80, 108, 178, 244. — Bowie, Traité pratique de l'exploitation hydraulique des mines en Californie, in-12, New-York. — Cumenge et Fuchs, L'Or, *Encyclopédie chimique de Frémy*, V. — Egleston. Metallurgy of Silver, Gold and Mercury in the United States, t. II, chap. II, p. 79.

([4]) On trouverait jusqu'à un certain point un effet analogue à l'action dynamique de l'eau, dans l'attaque des corps durs réalisée au moyen de jets de sable quartzeux sous l'influence d'une soufflerie. Des corps mous, tels que la limaille de plomb, arrivent ainsi à entailler des substances dures comme l'acier. Une étude théorique de ce curieux phénomène a été publiée par M. Osborne Reynolds (*Philosophical Magazine*, XLVI, 4e série, traduit par Pérard. — *Rev. univ. d. m.*, 2e, VIII, 516).

([5]) M. Hagenbach a fait, sur la congélation de l'eau en espace clos, des expériences intéressantes (*Archives des sciences physiques et naturelles de Genève*, 15 juin 1880. —

Digitized by Google

aux climats rigoureux, se rencontre en Russie pour l'exploitation de marbres statuaires, et au Massachusetts pour celle du granite. Il permet de détacher des blocs importants sans risquer de les fendre.

A cet effet, l'on commence par limiter le contour au moyen d'une série de trous de fleuret, identiques à ceux qui servent pour le tirage à la poudre. On les remplit d'eau le soir, en les obturant avec des tampons de bois enfoncés à force. Le froid de la nuit détermine l'expansion de la glace et l'éclatement de la roche.

145 — *Action organique.* — L'action organique mise en jeu pour l'abatage est celle qu'exerce l'humidité sur le bois pour en dilater les fibres. Les Égyptiens la faisaient intervenir pour détacher les blocs destinés à former leurs immenses obélisques. On l'a employée à La Ferté-sous-Jouarre pour l'exploitation des meulières (N° 576), et à Diano Marina (Ligurie) pour celle des calcaires lithographiques. Le but que l'on poursuit par là est le même que dans le cas précédent, c'est-à-dire d'éviter l'action brutale de la poudre sur des substances qui perdraient leur valeur par les moindres fendillements.

Après avoir foré des lignes de trous, on y force des tampons de chêne sec que l'on noie ensuite d'eau. L'augmentation de volume que prend le bois détermine le détachement du bloc.

146 — *Action chimique.* — L'action chimique de l'eau sur les roches peut être variée de bien des manières.

Signalons d'abord l'hydratation de la chaux vive, proposée pour la première fois par George Elliott et pratiquée ensuite par MM. Smith et Moore [1]. On arrive, comme dans le cas précédent,

Bulletin de l'Association scientifique de France, 4 juillet 1885, 220). — Dans celles de Martins et Chancel, la pression variait de 433 à 574 atmosphères (Gariel, *Annales des Ponts et chaussées*, 5e, IV, 1874. — *La Nature*, 4 septembre 1880, p. 209.)

La température de congélation s'abaisse quand la pression augmente (William Thompson, *Philosophical Magazine*, 3e, XXXVII, 123. — Haton de la Goupillière, *Cours de machines*. I, 760). Dans les expériences de Martins et Chancel, l'abaissement était d'un degré pour 133 atmosphères. On l'a trouvé moins rapide dans celles de M. Mousson. (*Annales de Chimie et de Physique*, 3e, XVI, 252.)

[1] *On a new method of mining coal by Paget Mosley* (*Journal of the iron and steel*

Digitized by Google

à déterminer une dilatation irrésistible. Elle est, en volume, à peu près du simple au quadruple.

La chaux, réduite en poudre fine, est moulée sous une forte pression en cylindres de $0^m,063$ de diamètre, sur la paroi desquels se trouve ménagée une rainure longitudinale. Après avoir renfermé cette cartouche derrière un bourrage énergique, que l'on force dans la partie antérieure du coup de mine, on injecte avec une pompe foulante un volume d'eau à peu près égal à celui de la chaux; puis on ferme le tube à l'aide d'un robinet, pour empêcher l'échappement de la vapeur due à l'échauffement considérable que produit la réaction chimique de l'eau sur cette base. L'éclatement a lieu sans explosion ni projection, sans danger d'inflammation du grisou, et en produisant une forte proportion de gros, en raison de ce genre d'action plutôt progressif qu'instantané. Cependant quelques débourrages ont coûté la vie à des hommes. En outre ce procédé salit le charbon. Il semble avoir obtenu peu de succès, et être aujourd'hui à peu près abandonné.

147 — Indiquons en second lieu la *désagrégation* par l'eau des matières faiblement cimentées. On sait, à cet égard, combien le creusement du canal de Suez a été accéléré dès que l'on a pu draguer sous l'eau les formations que l'on avait dû d'abord attaquer à sec.

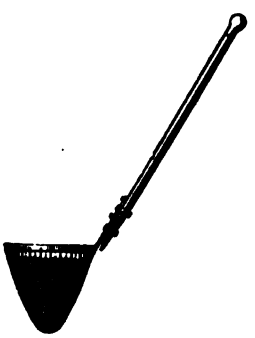


Fig. 127. — Drague du tourbier.

Ce mode d'exploitation est couramment employé pour certaines sablières des vallées de la Seine, de la Meurthe, etc.

On se donne le même secours pour les *décalabrages* des parois des grands découverts ardoisiers d'Angers. A cet effet l'on introduit l'eau dans les fentes concurremment avec l'ac-

institute, n° 1 for 1882). — *Annales*, 8e, I, 594. — *CRM*, 1883, 80. — *Revue scientifique de Bruxelles*, 1883, 681. — Voyage en Angleterre de MM. Houel, de Gournay et Mathet. *Bull. min.*, 2e, XIII, 741, 835. — *Annales industrielles*, 1884, II, 790. — *Génie civil*, 1885, p. 136. — *Revue industrielle*, 1er janvier 1885.

M. Murgue a donné sur ce sujet des détails étendus et intéressants, *CRM*, 1884, 155.

Digitized by Google

tion des coins et des leviers, pour déterminer avec précaution la chute des blocs dont on redoute l'éboulement inopiné.

C'est encore en raison de ce genre d'action que l'on retire, à l'aide d'une drague (fig. 127), la tourbe délayée du fond des parties submergées que l'on ne peut atteindre qu'en bateau.

148 — Vient enfin la *dissolution* proprement dite. On s'en sert notamment avec le chlorure de sodium, soit pour l'exécution du réseau de travaux souterrains qui constituent l'aménagement d'une mine de sel, soit pour l'enlèvement en masse du gîte lui-même [1].

Pour les travaux de traçage, on emploie l'eau sous une faible pression, deux atmosphères environ; car il ne s'agit plus alors de créer, comme dans la méthode de Californie (N° 143), une force vive destructive, mais simplement de faire lécher les surfaces solubles par une faible lame d'eau qui les use, en s'emparant du sel qui les constitue. Une tuyauterie qui amène le liquide jusqu'aux avancements, et des tubes flexibles sont destinés à le fournir à des pommes d'arrosoir, rondes ou plates suivant le but qu'il s'agit d'atteindre.

Fig. 128. Forage par l'eau d'un puits montant.

La même eau peut servir plus d'une fois. Elle est définitivement recueillie avec soin dans des gouttières, et rejetée au dehors à l'aide de caniveaux et des moyens ordinaires d'épuisement. Ce dernier point est d'une importance capitale, car c'est aux infiltrations qui ont insidieusement délayé le mur du gîte de Varangéville, que l'on doit attribuer l'accident qui a déterminé l'abandon de l'ancienne mine, en même temps que de cette méthode hydraulique dans la nouvelle exploitation (Chap. XLVII).

La figure 128 montre comme exemple le percement d'un puits en remontant, et la figure 129 la même opération exécutée en descendant. On a dû, dans ce dernier cas, commencer par forer un trou de sonde suivant l'axe du puits projeté, afin d'effectuer l'éva-

[1] Keller, Note sur les méthodes d'exploitation du Salzkammergut, *Annales*, 6e, II, 1.

Digitized by Google

cuation des eaux dans l'étage inférieur. Pour un avancement de galerie, on procédera à l'aide d'un havage et de rouilfures pratiqués avec des tuyères plates.

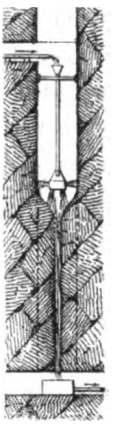


Fig. 129. Forage par l'eau d'un puits descendant.

149 — Quant à l'enlèvement complet d'un gîte de sel par la dissolution, il peut être effectué suivant trois modes différents. D'abord par le sondage, comme il a été déjà dit (N° 117). En second lieu, par la méthode vaudoise, employée dans les salines de Bex [1]. Elle consiste à pratiquer des chambres intérieures, dans lesquelles on abat la roche calcaire imprégnée de sel, qu'on laisse digérer avec l'eau. Au bout d'un certain séjour dans ces *salons*, la saumure s'écoule au dehors et se rend aux usines d'évaporation. Le troisième procédé est celui du Salzkammergut. Il diffère de la méthode vaudoise en ce que la roche n'est pas au préalable remaniée mécaniquement, mais dissoute en place. Nous examinerons plus tard avec détails (N° 439) l'application de ce procédé dans la mine d'Hallstadt.

§ 3

TRAVAIL AU FEU

150 — Pour les roches les plus *récalcitrantes*, les mineurs ont, de toute antiquité, eu recours à l'emploi du feu [2]. On retrouve partout les traces de ce mode d'exploitation [3], et Diodore de Sicile

(1) *Bulletin de l'Association scientifique de France*, n° 525, 120. — Notice sur les salines de Bex par la Compagnie exploitante, 1888, in-8°.

(2) Gobet, *Anciens minéralogistes du royaume de France*, I, 5. — Héron de Villefosse. *Atlas de la richesse minérale*, II, 30. — Delius, *Instruction sur l'art des mines*, traduit par Schreiber, qui appelle cette opération le *torréfage*, I, 245 à 256.

(3) Elle s'observent parfois sur une échelle gigantesque. On a, par exemple, pratiqué à l'aide du feu, dans la mine de plomb de Sala (Suède), une excavation de 30 m. de large sur 50 m. de long et 50 m. de hauteur.

Digitized by Google

le décrivait déjà en ces termes : « Quand la terre qui contient l'or se trouve trop dure, on l'amollit d'abord avec le feu, après quoi on la rompt à grands coups de pic ou d'instruments de fer » (1). Ce procédé a aujourd'hui perdu sa raison d'être depuis l'invention de la poudre, et des nouveaux explosifs plus énergiques encore. On ne le rencontre plus que d'une manière absolument exceptionnelle, et qui se raréfie tous les jours davantage, dans certains quartiers de quelques mines telles que le Rammelsberg (Hartz), Geyer et Altenberg (Saxe), Felsobanya (Hongrie), Kongsberg (Norvège), certaines exploitations de Suède, celles d'émeri à Naxos (2).

On sait que la chaleur *étonne* les roches. Le mécanisme de cette action très puissante est facile à comprendre. Celles-ci sont souvent formées par l'agglomération de minéraux dont les coefficients de dilatation peuvent être différents les uns des autres, ce qui les oblige, sous l'influence du feu, à des disjonctions mutuelles. La différence est faible, sans doute, mais la sphère d'action des forces moléculaires l'est encore davantage; et celle-ci une fois dépassée, la ténacité se trouve rompue sans retour.

En second lieu le défaut de conductibilité, au moment de l'échauffement, ou lors du refroidissement que l'on peut rendre

(1) M. Berthelot cite ce vers de Lucrèce :

Dissiliuntque fero ferventia sana vapore.

(De l'emploi du vinaigre dans le passage des Alpes par Annibal, *Journal des Savants*, avril 1889, p. 244.)

Les anciens paraissent d'ailleurs avoir été très experts dans l'art d'appliquer la chaleur aux roches, comme le témoigne la pratique si curieuse des forts vitrifiés, dont on retrouve encore de nombreux vestiges dans les contrées les plus diverses. Il est probable qu'ils se servaient dans ce cas spécial de fondants tels que le sel marin ou autres substances, en les variant suivant la nature des roches, et qu'ils agissaient à la fois par l'extérieur et l'intérieur des massifs de la construction, car les traces de l'action calorifique sont parfois encore plus sensibles à l'intérieur. Cette action a même atteint le point de fusion complète de la masse, qui se trouve par là soudée au sol avec lequel elle est unifiée. On a en cela dépassé de beaucoup le but, tout différent, que se proposaient de leur côté les mineurs dans leurs chantiers souterrains (Voir les communications de M. Daubrée, *Comptes rendus*, XCII, 269. — *Revue archéologique*, février 1881. — *Journal des Savants*, avril 1895, 847). — Général Prévost, *Mémoire sur les forts vitrifiés*, Saumur, 1863. — Général Prévost, *Dissertation sur les forts vitrifiés*, Angers, 1867. — Comte de Cessac, *Les forts vitrifiés dans la Creuse*, Caen, 1868. — Thuot, Forts vitrifiés, *Revue des sociétés savantes*, 2e, VIII, 160.

(2) *La Nature*, 13 octobre 1894, p. 315. — *Génie civil*, XXVI, 191.

Digitized by Google

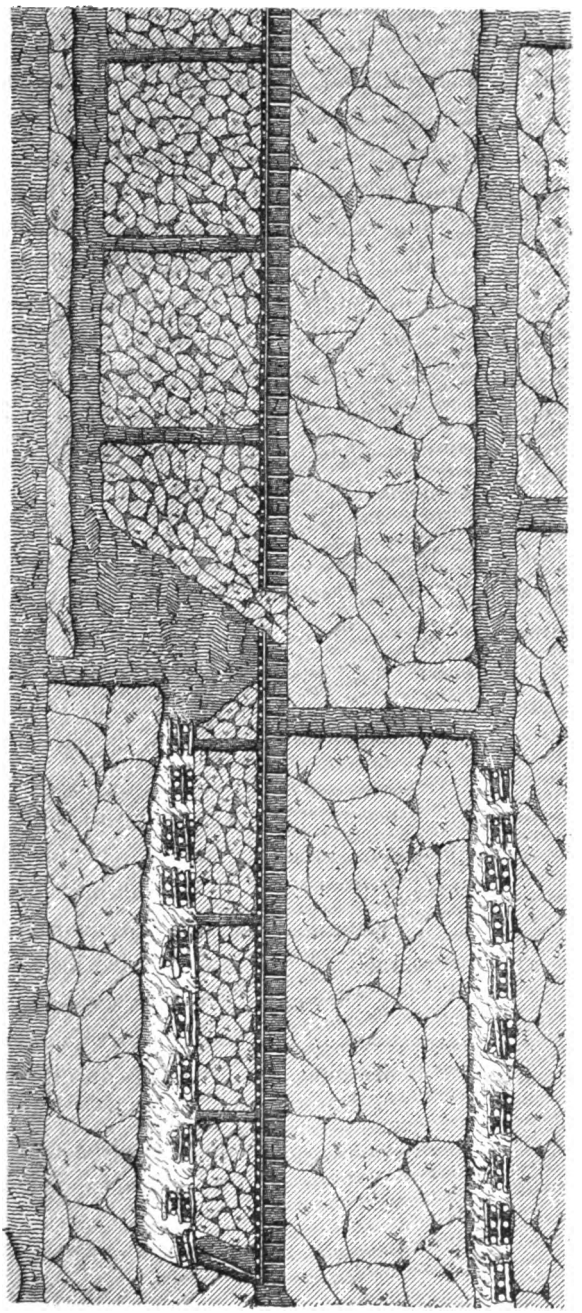


Fig. 130. — Travail par le feu.

Digitized by Google

très brusque par des aspersions d'eau, provoque des retraits inégaux et des fendillements dans la masse. On a employé ce procédé pour ouvrir une route au Yellowstone à travers une roche d'obsidienne, en calcinant la masse et y projetant de l'eau. Les naturels de Sierra Leone attaquent encore aujourd'hui le granite par le feu avec affusion d'eau froide [1].

Enfin il peut arriver que la matière perde, sous l'influence d'une haute température, certains principes constitutifs, tels que l'eau d'hydratation, un excès de soufre dans les pyrites, l'acide carbonique des calcaires changés en chaux vive que l'eau réduit ensuite en pâte délayable. De là des changements moléculaires profonds qui peuvent être accompagnés d'une transformation de la ténacité, de telle sorte que la roche, d'abord inattaquable, devienne relativement friable et se laisse démolir au pic.

151 — L'intensité de ces effets a été mise en évidence par une expérience de M. Daubrée [2], exécutée dans des quartzites avec le dard du chalumeau. Sous l'influence de cette flamme, il se détachait de la roche des paillettes de quelques millimètres, projetées à plusieurs décimètres de distance. En cinq minutes, un trou rond de plusieurs millimètres de diamètre se trouva foré sur six centimètres de profondeur.

Dans les mines profondes du Hartz, on employait dans les derniers siècles, pour le travail régulier par le feu, des bûchers dressés le long de la paroi (fig. 130). On les allumait les samedis soirs, au moment de la sortie des hommes. Ceux-ci rentraient le lundi matin pour la semaine, achevaient d'éteindre les feux, dépeçaient la roche et préparaient les chantiers de la série suivante. Le mercredi ou le jeudi, on exécutait une série de torréfactions secondaires, pour compléter la première sur les points où elle avait imparfaitement réussi.

On a employé également des espèces de rôtissoires en tôle, dirigeant la flamme vers la paroi au moyen de troncs de pyramides

(1) Élisée Reclus, *Géographie universelle*, XII, 346. — Richard Burton, *Wanderings in West Africa*. — Horton, *Climats of west coast of Africa*.

(2) *Annales*, 5e, XIX, 23.

Digitized by Google

ouverts à l'avant, et formant un gril, sur lequel on chargeait le bois avec de longues fourches.

Ce moyen un peu primitif a été perfectionné dans l'appareil Hugon (fig. 131), qui a été employé à la mine des Challanches

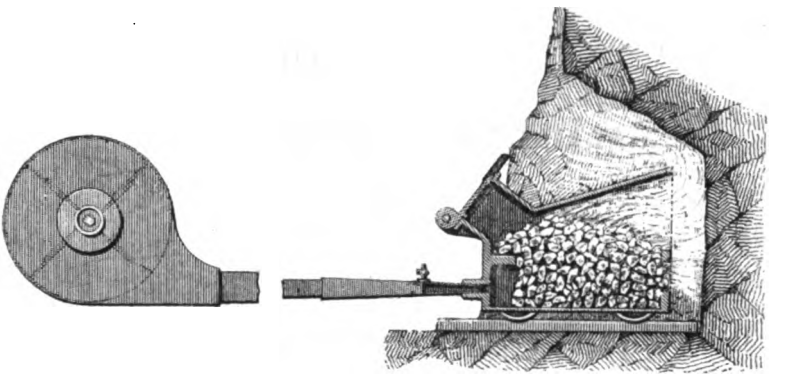


Fig. 131. — Appareil Hugon pour l'attaque par le feu.

(Oisans) [1]. Il consiste en un fourneau mobile sur rails et alimenté par un petit ventilateur, de manière à pouvoir concentrer une action calorifique intense sur un point donné.

[1] *Berg und hüttenmännische Zeitung* von Kerl und Wimmer, 1868, p. 398.

Digitized by Google

CHAPITRE VII

ABATAGE PAR LES EXPLOSIFS

—

§ 1

DÉTERMINATION DES TROUS DE MINE

152 — *Emplacement du coup de mine.* — Le tirage d'un *coup de mine,* appelé aussi *pétard* ou *fourneau,* consiste dans la série des opérations suivantes. On commence par forer un *trou de mine,* en forme de cylindre étroit et profond. On le charge de poudre sur une partie de sa longueur, et l'on bourre le reste au moyen d'une matière inerte. Un conduit est ménagé pour l'amorce à travers cette bourre. On met le feu à une mèche, qui brûle avec une lenteur suffisante pour que le mineur ait le temps de se retirer à l'abri. Après la détonation, il revient dépiler la roche au pic, et procède à l'enlèvement des déblais.

Le premier point à considérer est donc le choix de l'emplacement du trou de mine. On peut à cet égard formuler certaines idées générales ([1]), mais rien ne saurait suppléer à l'expérience personnelle du mineur.

([1]) Havrez, Sur le meilleur mode de creusement des trous de mine, *Rev. univ. d. m.*, XXXIX, 489 ; 2e, VI, 293. — Mahler, *La technique du sautage.* — Pontzen, Travaux de terrassement, *Encyclopédie Léchalas*, Tirage des mines, p. 71. — Wauvermans, *Étude sur les mines militaires et les effets dynamiques de la poudre.* — Chalon, *Les explosifs modernes.* — Striedinger, Explosion simultanée et groupement le plus avantageux des trous de mine. *Trans. of the American Society of civil Engineers*, VI, 177. — Drinker (*A treatise on tunnelling explosive compounds and rock drills*, New-York. — The principles of Blasting. *The railroad gazette*, mai 1878, p, 217, 229). — Whitmann

Digitized by Google

Il convient que la roche soit dégagée suivant le plus de faces possible. On place en général le trou à peu près parallèlement à celle de ces faces que l'on veut pousser en avant (1). Sa distance doit être telle que le coup fasse le plus possible de gros et peu de menu, en brisant sans broyer. Il faut pour cela tout à la fois prendre assez et ne pas prendre trop (2). Si l'on attaque un massif trop faible, il sera pulvérisé. S'il est trop fort pour la charge, celle-ci pourra trouver moins de résistance suivant l'axe du trou, et projeter la bourre au dehors. On dit alors que le coup *fait canon*, ou qu'il *débourre*. C'est ce qui arrivera également si le trou est trop perpendiculaire à la paroi dégagée.

Le mineur devra se servir avec intelligence des plans de moindre résistance, tels que les lits de substances étrangères interposés dans la stratification, les clivages, la schistosité, la *feuille* du charbon.

En général le trou de mine est pratiqué en descendant. Cependant la position ascendante présente aussi des avantages, en facilitant le mouvement pendulaire de la massette, ainsi que l'écoulement de l'eau et le dégorgement des poussières. Mais pour cette dernière raison elle est à éviter dans les mines de plomb oxydé, dont les poussières doivent être maintenues noyées, sous peine de déterminer chez les mineurs des coliques saturnines (3).

153 — Nous avons dit (N° 136) qu'après avoir pratiqué le havage et les rouillures pour effectuer l'abatage d'un bloc, on le détache du plafond à l'aide d'une ligne de coins. Si le charbon

Birsbordy, Peculiar working of a blast furnace. *Trans. Americ. Min.*, février 1890. — Firmstone, Note of the form of crater produced by exploding gunpowder in a homogeneous solid. *Ibidem*, octobre 1889. — Hagen von Hagenburg, Essai d'une théorie du tirage à la poudre et à la dynamite, Vienne. — Hoefer. (Le tirage. *Œsterreichische Zeitschrift*, XXVIII, XXIX, XXX. — *Die Ausrichtung der Verwerfungen*, Vienne, 1881. — *Beiträge zur Spreng oder Minen theorie*, Vienne, 1880.) — Rziha. (*Tunnelbau. — Theorie der Minen*, Lemberg, 1866.)

(1) Le profil théorique de l'entonnoir après l'explosion est une parabole suivant plusieurs auteurs, ou une logarithmique selon Culmann. (*Vierteljahrschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zurich*, 1871.)

(2) Certains sautages sont formidables. Nous en citerons plus loin des exemples, n° 166, note 1.

(3) Ceux-ci doivent alors apporter un soin particulier à se laver les mains, à se nettoyer les ongles, et, s'il est possible, à ne jamais manger dans la mine.

Digitized by Google

est dur, on leur substitue une série de pétards. Cependant le tirage en couronne, sur $0^m,30$ environ à partir du faîte, doit être rigoureusement proscrit dans les mines grisouteuses, car c'est précisément dans cette zone que se concentre le gaz d'après sa légèreté spécifique. De plus, il est particulièrement difficile d'y constater sa présence sans incliner la lampe, ce qui, pour certains types, en provoquerait l'extinction.

D'après un motif analogue, on ne doit pas, dans les houillères poudreuses, tirer de coups horizontaux à la sole ; c'est là en effet que reposent ces poussières inflammables, dont nous reconnaîtrons plus tard le danger ; un coup débourré pourrait les soulever et les embraser.

154 — Pour l'avancement d'une galerie, on pratique dans certains cas un gradin, en subdivisant la hauteur en deux travées, du reste inégales (N° 137). De cette manière, on peut avoir deux postes travaillant simultanément et réaliser un avancement plus rapide. De plus, le gradin, ainsi dégagé sur deux faces, se trouve dans des conditions plus favorables qu'un front de taille mené verticalement suivant toute la section de l'ouvrage. La plupart du temps cependant ce dernier mode domine pour plus de simplicité, et afin de permettre l'installation des perforatrices mécaniques.

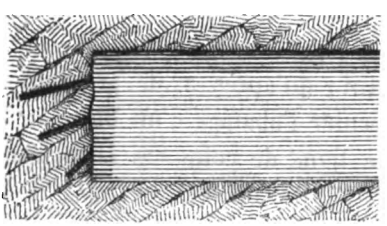


Fig. 132. — Coups de mine à l'avancement.

On peut commencer par déchausser le front de taille à l'aide de petits coups de mine, voisins d'un de ses angles, puis en progressant avec de plus énergiques (fig. 132). Souvent aussi l'on groupe au centre de ce front trois ou quatre trous rapprochés, plus profonds que les autres. Ils constituent les mines d'*empiétage*, que l'on fait partir les premières simultanément. Ils sont parfois remplacés par un forage unique à forte charge. Autour de l'entonnoir ainsi formé, l'on fait sauter successivement les mines de *dégraissage* qui l'agrandissent, les

Digitized by Google

mines de *maizières* et de *couronne* situées contre les parois et au toit de la galerie, et enfin les mines de *relevage* qui amènent sa sole au niveau voulu. Le nombre des trous par avancée est plus considérable pour les terrains durs que dans les masses tendres. Il varie en général de 15 à 20 pour une section de 4 mètres carrés.

155 — Pour le fonçage d'un puits rond, l'on pratique un fourneau central à la dynamite, qui dégage le reste en forme de gradin circulaire, en même temps que cette dépression sert de cuvette facilitant la réunion des eaux. On bat ensuite au large, à l'aide d'une ceinture de petits coups de mine.

Dans un mode inverse, on commence par creuser, avec une couronne de pétards relativement faibles, un fossé circulaire, puis on brutalise le stross central à l'aide de forts coups de mine. Cette méthode présente l'avantage de mieux ménager les parois, point très essentiel pour l'avenir du puits. Les grands ébranlements ne s'effectuent en effet dans cette méthode que lorsque la communication se trouve, jusqu'à un certain point, interrompue avec le massif externe.

Pour un puits rectangulaire, on peut commencer par pratiquer à petits coups deux fossés sur les longs côtés, puis un troisième suivant le petit axe. On enlève alors les deux stross en les rabattant sur ce fossé central à l'aide de pétards très inclinés.

156 — *Dimensions des trous de mine.* — La dimension d'un trou de mine ordinaire est d'environ $0^m,50$ et peut s'accroître jusqu'à un mètre. Quand on emploie les perforateurs mécaniques, la longueur est plus grande; elle varie en général de $1^m,00$ à $1^m,50$. Parfois aussi l'on trouve commode, pour déplacer moins souvent l'affût de ces appareils, de donner directement au trou une profondeur double : 2 mètres par exemple. On en remplit alors de sable la moitié, et l'on tire dans la travée antérieure suivant le mode ordinaire. Puis, après l'enlèvement des déblais produits par cette première volée, on retire le sable avec des curettes et l'on tire dans la seconde travée.

Nous avons même vu, dans cet ordre d'idées (N° 110), le sondage au diamant employé pour fournir des trous de mine d'une longueur

Digitized by Google

en quelque sorte indéfinie, que l'on fractionne ensuite pour le tirage. Ces procédés procurent plus de rapidité, mais ils provoquent des ébranlements qui peuvent déjeter l'axe du trou, en gênant ensuite le bourrage.

157 — Le diamètre est ordinairement de vingt-cinq à trente-cinq millimètres; il présente d'ailleurs une certaine proportionnalité avec la longueur.

Pour savoir s'il convient d'augmenter ou de diminuer le rapport de ces deux dimensions, en vue d'obtenir pour un même travail de forage le meilleur effet utile, désignons le diamètre par d, en appelant h la hauteur de la charge et h' celle de la bourre, de sorte que $h + h'$ représente la longueur du forage. Le travail de désagrégation à fournir sera en raison du volume de ce cylindre, c'est-à-dire proportionnel à :

$$(h + h')\, d^2.$$

Quant à l'effet utile, ou à la force de séparation exercée par la poudre dans le sens voulu, il se mesure par la somme des projections sur cette direction des efforts élémentaires exercés par la pression des gaz sur tous les éléments de la moitié de la surface interne qui est située de ce côté. D'après un théorème d'hydrostatique, cette somme a pour valeur le produit de la pression par la projection de la surface courbe sur un plan perpendiculaire à l'axe de déplacement. Elle sera donc proportionnelle au rectangle :

$$hd.$$

Le rendement s'exprimera d'après cela par la fraction :

$$\frac{hd}{(h + h')\, d^2} = \frac{1}{1 + \frac{h'}{h}} \cdot \frac{1}{d}.$$

Or le rapport $\frac{h}{h'}$ des hauteurs de la charge et de la bourre est à peu près constant pour chaque ensemble de données locales, et se

Digitized by Google

modifie même assez peu d'une manière générale. On voit donc que le rendement varie sensiblement en raison inverse du diamètre, et qu'il est par suite avantageux, à ce point de vue spécial, de réduire ce dernier élément.

§ 2

FORAGE

158 — *Tarières.* — Le forage d'un trou de mine rappelle très exactement, sur une échelle réduite, le procédé du sondage, et il n'est pas difficile d'y retrouver la plupart des points de vue sur lesquels nous avons insisté dans la description de cette vaste opération (chap. IV). On peut employer pour ce travail deux modes distincts : à la main ou avec des moteurs. Nous n'envisagerons en ce moment que les moyens de percement à la main. Les procédés de forage mécanique feront l'objet du chapitre VIII.

On peut employer pour le percement à la main, soit la rotation continue à l'aide de tarières, soit le choc.

Les tarières ou forets mus par la seule force de l'homme ne sont admissibles que dans les roches relativement tendres. On les met en jeu à l'aide d'une sorte de *vilebrequin*. Quand le trou de mine est placé dans un angle où cet instrument ne pourrait effectuer sa rotation continue, on lui substitue le *cliquet*, qui n'exécute que des mouvements angulaires alternatifs. Un encliquetage permet alors de revenir à vide, en n'agissant pour l'avancement de l'outil que par des mouvements de rotation directe.

On facilite beaucoup l'usage de la tarière par l'emploi de châssis portatifs, qui constituent les *perforateurs rotatifs à main*. L'un des premiers dont l'usage se soit répandu est le perforateur Lisbet. Il se compose d'abord (fig. 133) d'un montant dont les deux parties peuvent jouer à coulisse l'une dans l'autre [1]. La portion inférieure se pique dans le sol au moyen d'une pointe fixe. La seconde s'y adapte à l'aide d'une broche. On complète le serrage avec une vis, qui commande la pointe supérieure pour la piquer

[1] *CRM*, novembre 1879, 253.

Digitized by Google

dans le plafond. Le porte-outil peut voyager comme un curseur le long du montant et s'y fixer en divers points, de manière à procurer au trou de mine toutes les dispositions. Ce palier, taraudé à l'intérieur, sert d'écrou à une vis qui est elle-même creuse et traversée par la tige de la tarière. Un manchon à griffes s'embraie ou se désembraie, suivant que l'on tire ou que l'on pousse sur la manivelle pendant la rotation, pour rendre à volonté la tarière et la vis solidaires ou indépendantes. Si la roche est très tendre, on réunit les deux pièces, et l'outil pénètre forcément dans le massif d'un pas pour chaque tour. Mais si le terrain résiste à un aussi grand avancement, sous l'effort limité que peut exercer le bras de l'homme, celui-ci désembraie la vis, et n'obtient plus dès ce moment que des enfoncements en rapport, à la fois, avec la pression qu'il exerce et avec la résistance.

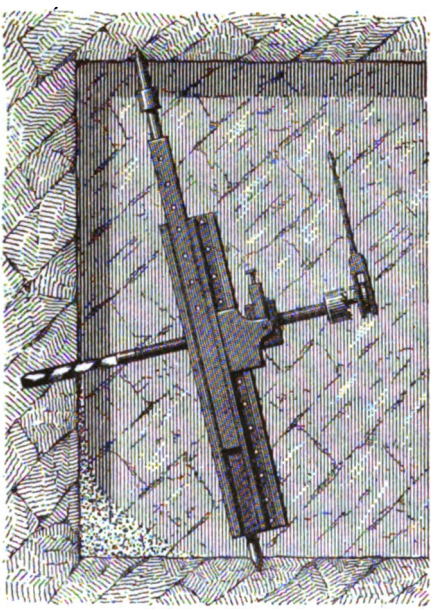


Fig. 133. — Perforateur Lisbet.

D'autres types de perforateurs rotatifs à main [1] ont été appliqués d'après des dispositifs variés, de manière à proportionner automatiquement la vitesse d'avancement à la dureté de la roche [2].

[1] Abegg; von Balzberg; Barlow, *Engineering*, 8 octobre 1875, p. 294; Berthet; Cantin, *CRM*, 1884, 170; *Génie civil*, XII, 149; Dinoire et Maillard, *Bull. min.*, 3e, II, 305; Fabes, Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*; Fritz et Schrader; Jordan Son et Meihé; Loch; Richards; Rziha; Schwetzka; Stanek et Reska.

[2] Hoefer, Hauerleistung bei der Bohrarbeit, *Œsterreichische Zeitschrift*, octobre 1884.

Digitized by Google

159 — Dans la perforatrice Elliott [1], la vis porte-outil (fig. 134) engrène avec une roue à dents hélicoïdales, qui présente de part et d'autre des parties circulaires emprisonnées entre deux mâchoires ; celles-ci sont réunies par une charnière et par une vis de serrage. Lorsque les mâchoires sont serrées à fond, la roue à dents se trouve immobilisée, et la vis porte-outil doit avancer à chaque rotation d'une longueur égale à son pas. Si l'on vient à les desserrer partiellement, on permet ainsi à la roue de tourner, et au mouvement d'avancement de se ralentir, lorsque la résistance de la roche atteint une limite variable avec le degré de serrage. L'effort de pénétration du foret, et par suite la vitesse de progression augmentent avec le frottement exercé sur la roue dentée par les mâchoires; mais l'effort à produire par l'ouvrier s'accroît en même temps. Pour changer de forets, on desserre complètement la vis de serrage, ce qui permet de ramener facilement l'outil en arrière.

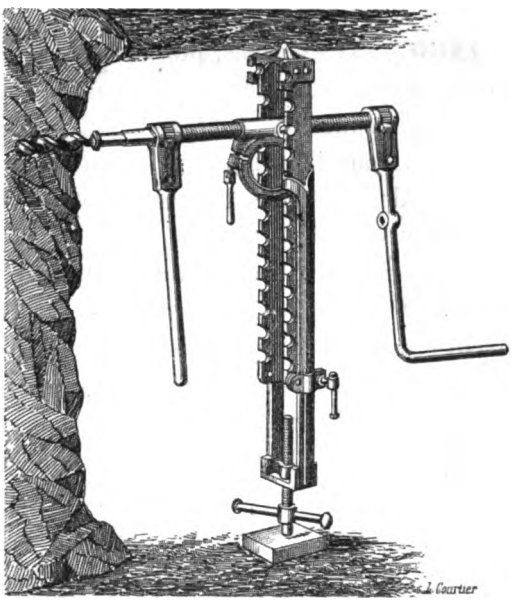


Fig. 134. — Perforatrice Elliott.

Un principe analogue a été appliqué avec d'autres appareils [2].

Dans les perforatrices construites par M. Bornet [3], l'écrou fixe que traverse la vis porte-outil comprime à l'arrière, à me-

(1) *Rev. univ. d. m.*, 3e, I, 33; 3e, II, 105. — *Bull. min.*, 3e, II, 310.

(2) Perforateurs Burnett, *Rev. univ. d. m.*, 3e, II, 105 ; — Sartiaux, *Bull. min.*, 3e, II, 313 ; — Guillat, *CRM*, 1888, 177 ; — Dunand, le *Vulgarisateur*, Bâle, 1891, 37.

(3) *Bull. min.*, 3e, II, 312; 3e, IV, 127. — *Génie civil*, XII, 149; XXII, 382.

Digitized by Google

sure que la dureté des terrains augmente, des ressorts Belleville qui, lorsqu'ils sont serrés à fond, finissent par désembrayer cet organe. L'écrou peut alors tourner, et ne s'embraie de nouveau que lorsque le foret s'est avancé sous la pression des ressorts seuls.

160 — Les mèches, plus ou moins robustes suivant la nature de la roche, sont constituées par des barres d'acier, de section ovoïde, tordues en hélice. Leur taillant est le plus souvent de forme cintrée. Pour le forage d'un même trou, il en faut en général plusieurs, de longueurs croissantes et de diamètres légèrement décroissants.

Les perforatrices à main doivent être aussi légères que possible, afin d'assurer un maniement facile; mais cette légèreté n'est souvent obtenue qu'aux dépens de la puissance. Le choix de l'appareil doit donc s'inspirer de la nature du travail à effectuer.

Les appareils rotatifs dont nous venons de parler ne sont généralement pas employés avec les terrains durs; leur avancement varie de $0^m,50$ à $1^m,00$ par minute dans le charbon, et de $0^m,07$ à $0^m,15$ pour les roches de dureté moyenne.

Fig. 135. Barre à mine.

161 — *Barre à mine.* — Quand on emploie le choc, on peut d'abord, bien que rarement, se servir d'instruments contondants appelés *bonnet carré* et semblables à ceux du sondage.

Mais on préfère presque toujours les instruments tranchants. Je citerai d'abord le trépan, ou *barre à mine* (fig. 135). Le mineur soulève l'outil et le laisse retomber par son poids. Dans les travaux à ciel ouvert, et lorsque l'on dispose de la place nécessaire pour forer de grands coups de mine, sans se préoccuper de la solidité des parois, on manœuvre des barres à mine à deux hommes, plus longues et plus lourdes[1].

Quand le trou de mine n'est plus vertical, la manœuvre précé-

[1] On en a employé d'une longueur de sept mètres, à la carrière du Pouzin (Ardèche).

Digitized by Google

dente deviendrait difficile et manquerait de précision. M. Delahaye a proposé à cet égard un système (fig. 136) formé de deux montants analogues à celui du perforateur Lisbet. On y dispose un guide parcouru par un curseur porte-outil, auquel se fixe le trépan. Les hommes n'ont plus qu'à écarter ce chariot du front de taille et à l'y lancer à force de bras. Ils se trouvent dispensés d'en supporter le poids.

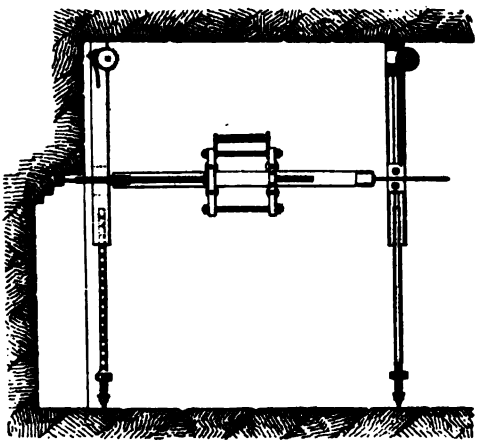


Fig. 136. — Perforateur Delahaye.

La perforatrice Konyves-Toth (1) repose sur un principe analogue, mais avec un dispositif moins encombrant.

M. Berreins avait même proposé, pour permettre de mouvoir un plus fort trépan, d'associer les efforts d'un certain nombre d'hommes placés dans la galerie, et agissant à peu près comme les rameurs dans une barque (2). Ces procédés ne se sont pas répandus.

Plus récemment on a mis en service dans quelques exploitations des perforatrices percutantes à main, qui sont plus puissantes que les appareils rotatifs pour l'attaque des terrains durs.

Avec la perforatrice Daubresse (3), l'ouvrier actionne à l'aide d'une manivelle une came à trois dents, qui alternativement éloigne la barre à mine du front de taille en comprimant un ressort à boudin, puis l'abandonne pour qu'elle soit projetée par ce dernier contre la roche. La rotation et l'avancement de la tige s'opèrent à la main.

On a essayé de remplacer le ressort par la détente d'un certain

(1) *Bull. min.*, 2e, VIII, 924.
(2) Callon, *Cours d'exploitation des mines*, I, 214.
(3) *Bull. min.*, 3e, II, 308.

Digitized by Google

volume d'air, que l'ouvrier comprime derrière un piston porte-outil [1].

162 — *Fleuret et massette.* — Le moyen classique de forage des trous de mines, encore employé couramment malgré l'introduction des appareils de perforation, consiste dans l'emploi du *fleuret* ou *burin* (fig. 137), sorte de long ciseau que le mineur tient d'une main, tandis que de l'autre il le frappe avec une massette (fig. 122).

Fig. 137. Fleuret.

Rationnellement, cependant, ce procédé ne vaut pas l'emploi de la barre à mine; car, au choc unique de cette dernière contre le rocher pour exercer l'effet utile de désagrégation moléculaire, il substitue l'ensemble de deux chocs, dont l'un, inutile en principe, est par cela seul nuisible, à savoir celui de la massette contre le fleuret. Tout au moins doit-on chercher à réduire la perte de force vive ainsi introduite. Or la théorie enseigne que cette perte, dans le choc d'un corps mobile contre un objet fixe, diminue avec le rapport des masses du corps choqué et du corps choquant. Il convient donc, en thèse générale, d'employer des massettes lourdes et des fleurets légers.

Parfois le travail se fait à deux hommes, et la masse est manœuvrée à deux mains par l'un des ouvriers, pendant que l'autre maintient avec les siennes le fleuret dans la direction que l'on veut donner au trou de mine. Au bout d'un certain temps, les rôles changent, et le premier mineur se repose en tenant le burin, tandis que son camarade assène à son tour les coups de masse. La discussion d'un grand nombre d'observations semble montrer que le travail ordinaire, effectué par un seul homme, est plus économique que ce dernier mode [2].

163 — Le fleuret est une barre de fer ronde ou carrée. Elle est aciérée à l'extrémité. On peut aussi, pour l'alléger, la former

(1) Perforatrice Jordan, *Bull. min.*, 2e, VIII, 920. — Burton, *Ibidem*, 3e, II, 307; *Revue industrielle*, 1881, 54.

(2) Havrez, *Rev. univ. d. m.*, XXXIX, 489.

Digitized by Google

entièrement d'acier. On tourne l'instrument d'un certain angle à chaque coup, en vue d'éviter qu'il ne se coince dans la fente, et pour assurer la forme circulaire du trou[1]. Le tranchant n'est pas rectiligne, mais légèrement courbe. Il est un peu plus large que le corps de l'outil, afin que celui-ci reste bien libre dans le trou. Quelquefois, mais rarement, il est muni sur les deux côtés de petites ailes courbes destinées à aléser le trou, lesquelles donnent au ciseau, en coupe transversale, la forme d'un Z. On a même proposé le fleuret en double Z, en associant deux semblables tranchants à angle droit l'un sur l'autre. Mais ces formes compliquées nécessitent un supplément de dépense et de difficultés pour les réparations.

Pour peu que la profondeur du trou de mine ait quelque importance, on emploie successivement pour l'atteindre plusieurs fleurets différents : trois, ou même quatre, en général. Les premiers sont plus courts, pour ne pas embarrasser l'ouvrier par un excès de longueur, alors inutile. Ils sont un peu plus larges que le diamètre final, et de calibres décroissants au fur et à mesure qu'ils s'allongent, afin que le dernier, qui présente exactement le diamètre voulu, puisse manœuvrer à l'aise dans le vide pratiqué par les précédents, même avec de légers défauts de rectilignité.

164 — On a cherché à augmenter le diamètre du fond, tout en diminuant celui du trou lui-même, afin d'obtenir, pour la matière explosive, avec le minimum de perforation totale, un logement aussi concentré que possible dans la profondeur. Divers procédés ont été proposés à cet égard.

On a employé l'attaque par les acides; mais cette méthode ne convient guère qu'aux calcaires et manque de régularité.

On peut citer, pour sa simplicité, le fleuret coudé de Kraut de Zurich (fig. 139), qui permet, en donnant à

[1] Cette précaution ne suffit même pas encore complètement. Il peut arriver, avec des ouvriers inexpérimentés, que la section affecte des formes polygonales, telles que celle de l'organe de machines connu sous le nom d'*excentrique triangulaire* (fig. 138), les rotations s'effectuant successivement autour des divers sommets de ce polygone, dont les côtés sont formés d'arcs de cercle.

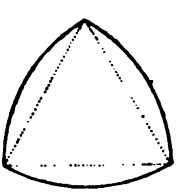


Fig. 138.

Digitized by Google

l'instrument une certaine inclinaison dans le trou, d'élargir la chambre intérieure (1).

On a proposé des élargisseurs, analogues à ceux du sondage (2), qui, après leur introduction à travers un passage étroit, s'épanouissent pour travailler sur un plus grand diamètre. Je citerai par exemple celui de MM. Plom et d'Andrimont (3). Dans le tube A

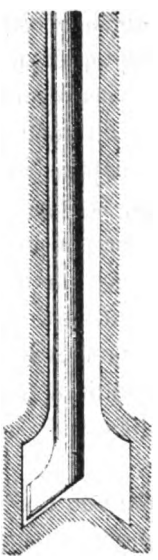


Fig. 139.
Fleuret recourbé.

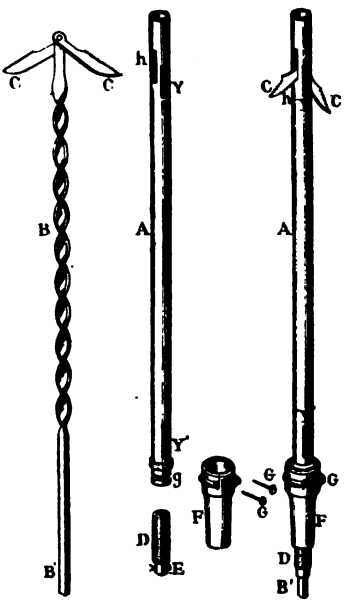


Fig. 140 à 144.
Excavateur Plom et d'Andrimont.

(fig. 140 à 144) se meut l'hélice B, qui porte à son extrémité les ailettes C. Le carré B′ est fixé à la vis D au moyen de la goupille E. Cette vis D pénètre dans l'écrou F. Celui-ci peut tourner librement autour du tube A, auquel le relient les goupilles G engagées dans la gorge *g*.

Dans le trou de mine, préalablement foré comme à l'ordinaire,

(1) *London Journal of arts*, juillet 1854, 49.

(2) Verjus (Ponson, *Supplément du traité d'exploitation des mines de houille*, I, 15). — Courbebaisse (Rziha, *Tunnelbau*, I, 97.)

(3) *Excavateur de mines Plom et d'Andrimont*, notice, Liège, 1887. — *CRM*, 1888, 4, 176. — Olivier, *Bull. min.*, 3e, II, 394.

Digitized by Google

on introduit l'appareil, auquel on imprime un mouvement de rotation à l'aide d'une manivelle ou d'un cliquet. En maintenant à la main le manchon F, on détermine la sortie de la vis D et par suite l'épanouissement progressif des ailettes C, qui s'ouvrent en passant par les ouvertures *h*, et terminent l'élargissement du fond. La poussière de charbon pénètre dans la fente Y, et sort par la seconde fenêtre Y'.

Pour retirer l'excavateur, on fait tourner D en sens inverse en immobilisant F; les ailes se replient alors en permettant la sortie de l'appareil. On obtient ainsi une cavité présentant un diamètre de 30 centimètres et une capacité de deux litres et demi à trois litres.

M. le capitaine du génie Pech[1] réalise une certaine économie dans le forage, en pratiquant deux ou plusieurs trous parallèles très voisins, et chargeant l'un d'eux à faible dose. L'inflammation a pour unique effet de crever et de détruire les cloisons, en réunissant les excavations en une seule. On vide alors cet espace et l'on peut y installer une forte charge, qui, avec le procédé ordinaire, aurait nécessité pour son logement un plus grand travail de forage.

Fig. 145. Curette.

165 — *Curette.* — Au fur et à mesure que le trou de mine s'approfondit, on retire les matières solides avec la *curette* (fig. 145). C'est une barre de fer ronde, aplatie à son extrémité et recourbée d'équerre. A l'autre bout, se trouve adaptée une boucle, dans laquelle on passe un paquet de chiffons ou d'étoupes pour sécher le trou, au moment de procéder au chargement.

Le trou est en effet ordinairement rempli d'eau. Elle présente cette utilité de rafraîchir les outils, qui sont alors moins exposés à perdre leur trempe et s'usent moins vite; en outre elle fixe les poussières du forage, souvent nuisibles à la santé de l'ouvrier. C'est au point que l'on a soin de seringuer de l'eau de temps à autre dans le trou de mine quand elle ne s'y accumule

[1] Procédé Pech et Wickersheimer, *Annales*, 8e, V, 389.

Digitized by Google

pas naturellement, par exemple dans les forages horizontaux ou inclinés vers le haut.

Au dernier moment toutefois l'eau doit être éliminée, en utilisant la curette de la manière que nous venons de décrire. Si la roche est fissurée et laisse suinter à travers les parois le liquide qui l'imprègne, il faut glaiser le trou. A cet effet, on le remplit d'argile molle. En y enfonçant ensuite de force la tige du bourroir, on rétablit le vide, en laissant sur sa surface latérale un corroi d'argile qui maintient les eaux.

Lorsque celles-ci tendent simplement à s'introduire par l'orifice, on le défend contre leur invasion au moyen d'un petit bâtardeau en terre glaise élevé tout autour.

Si enfin tous ces moyens échouent, il reste la ressource de tirer sous l'eau, par des moyens spéciaux que nous indiquerons ultérieurement en décrivant les opérations du chargement (§ 3) et de la mise du feu (§ 5).

§ 3

CHARGEMENT

166 — *Procédé ordinaire.* — En général la charge des coups de mine varie entre 50 et 500 grammes [1], tant pour la poudre noire que pour les explosifs brisants; ceux-ci produisant cependant à poids égal un travail beaucoup plus considérable. Il est difficile de préciser par des aperçus théoriques [2] la relation la plus convenable entre cette donnée et les conditions variables du tirage. L'habitude de chaque gîte en particulier finit par guider à cet égard, d'une manière très sûre, le mineur expérimenté.

[1] On a parfois chargé des fourneaux de mine gigantesques. Dans les carrières du Theil on a atteint des charges de 7 000 kilogrammes de poudre. (*Annales des travaux publics de Belgique*, septembre 1881, p. 451.) Les hommes, chaussés d'espadrilles, travaillaient alors dans l'obscurité pour le chargement et le bourrage. Dans les travaux de Panama, on a effectué des sautages de 30 000 mètres cubes de roche (Bunau Varilla, *Comptes rendus*, CII, 723); à Brest, des abatages de 80 000 mètres cubes (Max de Nansouty, *Génie civil*, XX, 170) ; au Theil, un sautage de 125 000 mètres cubes (Orieulx de la Porte, *Annales*, 8e, III, 295).

[2] On pourra à cet égard se reporter aux sources citées plus haut (n° 152, note 1).

Digitized by Google

On peut cependant d'après Burgoyne prendre comme base du calcul de la charge le cube de la distance de son centre à la surface dégagée, multiplié par une constante qui varie selon la puissance de l'explosif et la résistance de la roche. Pour la poudre noire, lorsque la distance est exprimée en décimètres, et qu'on veut évaluer la charge en grammes, ce coefficient varie entre 1/2 et 1.

Des charges trop fortes ne sont pas seulement à éviter au point de vue économique; elles vicient inutilement l'atmosphère, et augmentent le danger dans les mines grisouteuses, comme nous le verrons plus loin.

Le Génie militaire [1] emploie, pour déterminer la charge de poudre c exprimée en kilogrammes, la formule suivante :

$$c = gh^3 (\sqrt{1 + n^2} - 0{,}41)^3,$$

dans laquelle l'indice n représente le rapport de la ligne de moindre résistance h au rayon de l'entonnoir à produire [2], et g un coefficient spécifique qui varie de $\frac{2}{3}$ dans des remblais, à 3 pour des roches moyennement dures, et 5 avec des matières très dures.

M. Cerbelaud [3] propose, *pour la dynamite*, une relation bien différente de la forme précédente, qui revient à :

$$c = Al,$$

en désignant par c la charge en kilogrammes, l la ligne de moindre résistance évaluée en mètres, et A un coefficient spécifique qui, pour une dynamite faible, peut prendre les valeurs suivantes :

Vieille maçonnerie très ferme	0,67
Grès dur.	0,47
Grès tendre	0,30
Roches moins résistantes.	0,24

(1) Aide-mémoire des officiers du génie, par Laisné, VI, 9.

(2) Les valeurs de cet indice, supérieure, égale ou inférieure à l'unité, caractérisent les fourneaux surchargés, ordinaires ou sous-chargés.

(3) Cerbelaud, *Mémoires des ingénieurs civils*, décembre 1885, p. 707. — Barbe, *Ma-*

Digitized by Google

167 — Quant à la manière de charger, on ne doit sous aucun prétexte perdre de vue l'axiome suivant : *Ne jamais verser directement la poudre dans le trou*. En effet, les parois resteraient certainement imprégnées de poudre. Dans ces conditions, si le bourroir venait à faire feu contre le quartz au commencement du bourrage, l'inflammation se communiquerait à la charge et en déterminerait la déflagration.

Quelquefois l'ouvrier se contente de verser avec sa poudrière la charge convenable dans un papier, qu'il bouchonne, introduit dans le trou, et pousse avec le bourroir jusqu'au fond. Mais ce procédé lui-même laisse subsister une partie du danger précédent, car le papier risque d'être déchiré par les anfractuosités des parois.

La vraie solution est l'emploi de la *cartouche*. Dans toute mine bien organisée, les cartouches sont fabriquées d'avance à la lumière du jour en dehors des travaux, emmagasinées dans la poudrière et distribuées aux hommes. Elles consistent en un cylindre de fort papier gris, présentant le calibre voulu. On lui substitue la toile goudronnée, si la roche est humide. S'il faut tirer sous l'eau, on se sert de cylindres de fer-blanc lutés.

168 — On emploie également la *poudre comprimée* de Davey [1]. Ces cartouches sont formées d'un simple bloc de poudre, sans aucune enveloppe étrangère. Elles sont cylindriques et percées d'un canal central, ou latéral, pour qu'on puisse y introduire la mèche. On constitue les charges en superposant des multiples de ce type fondamental. La poudre comprimée présente l'avantage de condenser la force explosive dans un plus petit espace et, par conséquent, plus près du fond. Elle diminue la production de pulvérin, qui laisse des traces dangereuses partout où passe l'explosif quand il est à l'état pulvérulent.

M. Ruggieri a introduit la poudre *comprimée-papetée*. Sa cartouche est enveloppée, au moment de la compression, dans un papier fin et gommé, qui fait ensuite corps avec elle, empêche absolument

nuel des mineurs, Paris, 1880. — Détermination pratique des charges de dynamite à employer, *Annales des travaux publics* de Belgique, avril 1871, p. 335.

[1] *Revue univ. de m.*, 2e. III, 751. — *Revue d'artillerie*, mai 1875.

Digitized by Google

la production de pulvérin par le frottement, et procure plus de solidité.

169 — Les explosifs brisants tels que la dynamite, dont l'emploi est aujourd'hui très fréquent, sont vendus dans des cartouches enveloppées de papier paraffiné et douées d'une certaine plasticité; une légère compression leur permet de s'adapter aux irrégularités du trou de mine. Le papier est quelquefois remplacé par du carton; dans cet état, les cartouches ne peuvent plus être comprimées, mais elles se conservent mieux et sont moins sensibles à l'humidité. On les introduit avec précaution dans le trou de mine à la suite l'une de l'autre; une poussée brutale risquerait de provoquer une explosion prématurée [1].

170 — Il est ordinairement prescrit aux ouvriers de ne faire usage que des cartouches fournies par l'administration de la mine.

La descente des explosifs dans les travaux ne doit se faire que sous la conduite de surveillants; les caisses ou barils qui les contiennent sont calés avec soin sur le plancher de la cage; on s'éclaire pour leur transport à l'aide de lanternes fermées. Chaque jour, les ouvriers reçoivent seulement la quantité de cartouches nécessaire au travail de la journée; ils doivent restituer celles qui n'ont pas été utilisées le jour même.

Au chantier, les cartouches sont placées dans une boîte en bois fermée à clef, où l'on doit éviter de réunir des explosifs de natures différentes. Cette boîte est tenue loin des lampes et de tous foyers, à l'abri des chocs et de l'humidité.

Dans les mines à grisou, les cartouches ne sont délivrées qu'aux ouvriers *boute-feux* qui doivent seuls charger les mines, ou les faire charger sous leurs yeux pour en effectuer eux-mêmes le tirage.

171 — *Tirage au tasseau.* — C'est ici le lieu de signaler pour mémoire une ancienne pratique appelée *tirage au tasseau*. Elle con-

[1] Pour les travaux sous l'eau, on enveloppe parfois toute la charge dans une gaine caoutchoutée.

Digitized by Google

sistait à introduire, indépendamment de la cartouche de poudre noire, un petit cylindre de bois, de diamètre moindre que celui du trou, en renfermant le tout derrière le bourrage.

La première idée qui a donné lieu à la création de cette chambre à air, paraît avoir été une fausse interprétation de ce qui se passe dans les canons de fusil, que l'on voit quelquefois éclater, quand la charge s'est éloignée du fond, ou que le canon se trouve bouché à la gueule. On concluait de cette observation que la présence de cet air confiné est favorable à l'augmentation de pression et, par conséquent, recommandable pour le sautage des roches. Mais cette assimilation est inexacte.

En effet, l'explosion du canon de fusil, lorsqu'elle se produit dans ces conditions, tient à ce que les gaz, au lieu de s'échapper avec leur vitesse ordinaire par la bouche, ont dû prolonger leur séjour dans l'âme, soit en se répandant en arrière avant de ressortir en avant, si la charge avait déjà progressé vers l'orifice, soit en prenant le temps de former une tension suffisante pour expulser le bouchon de l'extrémité, avant de se détendre librement. Cette prolongation de la réaction permet à la poudre de brûler plus complètement, tandis qu'une partie importante de la charge était, avec les anciennes armes, projetée au dehors avant d'opérer sa déflagration, dont l'effet était dès lors perdu. Ce complément d'action s'effectuant au contraire dans le fusil, on comprend que la pression résultante en devienne d'autant plus élevée, et que le canon arrive à éclater, si son épaisseur n'est pas en état de résister à ce supplément d'effort.

Il est clair que ce danger n'existerait plus si le métal était établi dans des conditions de résistance suffisante. Et cela est tellement vrai que, dans certaines armes prussiennes qui ont précédé le fusil Dreyse, on avait précisément disposé en arrière de la cartouche une chambre à air, en vue de produire cette augmentation de pression, et par suite de force projective. Seulement on avait, bien entendu, pris le soin de renforcer suffisamment les épaisseurs.

Or l'assimilation de ce fonctionnement au tirage des mines pèche par la base, car, dans ce dernier cas, tout l'ensemble se trouve confiné, et les conséquences basées sur le ralentissement de l'écou-

Digitized by Google

lement libre par un orifice ouvert n'ont plus rien de commun avec la question actuelle. On doit par conséquent écarter ce genre d'interprétation.

Cette pratique, actuellement abandonnée d'ailleurs, n'a donné en somme que des résultats défavorables.

On l'avait cependant variée de bien des façons. On a employé d'abord le *tasseau par-dessous*, en insérant le cylindre de bois avant la cartouche. Le *tasseau par-dessus* était interposé entre la cartouche et la bourre. Le *tasseau latéral* avait la forme d'un demi-rondin occupant la moitié du cylindre, tandis que la charge remplissait l'autre. Le *tasseau central* était concentrique au trou de mine, et la charge se répartissait tout autour.

Un principe analogue se retrouve encore dans l'emploi d'un ressort qui a été proposé par M. Lagot [1] pour occuper, au fond du trou, un certain espace entre la roche et la cartouche.

172 — En ménageant par ces procédés un espace libre derrière le bourrage, on s'expose au grave inconvénient de diminuer la *densité du chargement*, c'est-à-dire le rapport du poids de l'explosif au volume dans lequel il est enfermé. Il convient au contraire d'augmenter le plus possible cet élément. La puissance d'un explosif dépend en effet de la pression initiale développée par la combustion de la cartouche, et on l'affaiblit en créant des vides dans la charge. C'est pour augmenter cette densité que l'on comprime, comme nous l'avons dit, les cartouches plastiques de dynamite dans le trou de mine; on peut aussi remplir de sable fin le vide existant entre la charge et les parois, si la direction de ce dernier s'y prête; ou bien introduire d'abord au fond du trou une matière gélatineuse, telle que de la colle de pâte coulée dans des tubes en papier, qui reflue par la compression autour de la cartouche et comble l'espace vide.

[1] *CRM*, juin 1881, 147; 1882, 163; 1884, 122.

Digitized by Google

§ 4

BOURRAGE

173 — *Instruments.* — L'opération du bourrage se fait à l'aide du bourroir, auquel s'ajoute parfois l'épinglette.

L'*épinglette* est une longue aiguille, pointue à une de ses extrémités et terminée à l'autre par un anneau d'un diamètre très supérieur à celui du bourroir. On la fait quelquefois en fer; mais cette pratique doit être rigoureusement proscrite, comme exposant à faire feu avec le quartz, si un coup mal dirigé applique l'épinglette contre le fond du trou, tandis que l'on doit maintenir sa pointe dans le sein de la poudre.

Fig. 146 et 147. Bourroir (élévation et plan).

Le cuivre rouge, le laiton ou le zinc, sans assurer rigoureusement le mineur contre cette éventualité, l'y exposent cependant à un degré beaucoup moindre. Ces matières ont l'inconvénient d'offrir moins de résistance et de se courber facilement. Pour obtenir la même raideur, on est obligé de donner à l'épinglette un plus gros diamètre. Mais alors l'espace qu'elle laisse libre, quand on la retire pour procéder à l'amorçage, augmente le *vent*, c'est-à-dire la perte de gaz au moment de la déflagration, à travers le passage laissé vide par le retrait de l'épinglette. En outre, ces métaux sont plus chers que le fer.

L'épinglette de bois a aussi été employée, mais elle est fragile et peut se casser dans le trou, au moment où l'on cherche à la retirer.

L'usage de cet instrument, que l'on n'utilise d'ailleurs qu'avec la poudre noire, tend de plus en plus à disparaître devant l'emploi de la mèche de sûreté dont nous parlerons plus loin.

174 — Le *bourroir* (fig. 146 et 147) est une tige d'un diamètre notablement moindre que celui du trou. Elle se termine par un

Digitized by Google

renflement échancré sur un point de sa circonférence, de manière que sa section, au lieu d'avoir la forme d'un cercle, se rapproche de celle d'un croissant. Ce vide est destiné à réserver le logement de l'épinglette ou de la mèche de sûreté.

Le fer présente ici les mêmes inconvénients qu'avec l'épinglette. Aussi préfère-t-on les bourroirs à bout de cuivre, de laiton, ou même de zinc. Pour éviter que l'autre bout, qui est en fer, puisse par inadvertance être employé lui-même au bourrage, on doit avoir soin de le terminer par une pomme plus grosse que le tranchant du fleuret, incapable par conséquent de pénétrer dans le trou.

Le bois convient très bien. Quoique cette substance se détruise rapidement, l'usage de tels bourroirs est à recommander pour tous les cas, et l'on ne doit pas en employer d'autres quand on fait usage de l'étoupille de sûreté, car celle-ci peut être coupée ou détériorée par un bourroir métallique.

M. Lagot a encore proposé le caoutchouc durci, dont l'efficacité n'a pas été sanctionnée par l'usage.

175 — *Bourre.* — Les matières employées au bourrage doivent être rigoureusement exemptes de quartz et de minéraux d'une dureté analogue, pour ne pas risquer de faire feu pendant l'opération. On se sert, suivant les circonstances, de saucissons d'argile préparés d'avance, de brique ou de tuile pilées, peu cuites, de schiste houiller tendre, de gypse, de poussière de sel.

Le plâtre a été recommandé [1], mais la chaleur qu'il dégage en faisant prise pourrait déterminer l'inflammation de la charge.

On a proposé aussi des bourres en bois, en fer, en caoutchouc, préparées à l'avance et parfois très compliquées. Leur prix élevé n'en permet guère l'usage.

Avec les explosifs brisants, comme la dynamite, on peut se contenter d'un bourrage formé de sable non comprimé, ou même d'eau versée dans le trou [2].

[1] *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, 1884, p. 294. — Clodéine fendpierre, *CRM*, 1886, p. 57.

[2] Chalon, Le tirage des mines sans bourrage, *Génie civil*, XII, 88.

Digitized by Google

176 — Pour amortir les coups du bourroir, on interpose quelquefois un tampon de papier ou un peu de foin entre la charge et la bourre. Cet usage doit être proscrit lorsque l'on fait usage de l'épinglette. En effet l'élasticité de ces matières tend à les ramener dans le trou laissé vide par celle-ci au moment où on la retire. Lorsque le fétu enflammé arrive par ce conduit, au lieu d'atteindre directement la poudre, il s'arrête dans le papier; s'il s'y éteint définitivement, il se produit un raté; si au contraire l'inflammation continue à se propager lentement et finit par atteindre la charge, on a un *long-feu*, résultat plus fâcheux encore.

Dans les houillères grisouteuses ces pratiques doivent également être écartées, car il faut éviter d'introduire dans la bourre aucune matière susceptible de rougir ou de s'enflammer au moment de la combustion de l'explosif.

C'est ainsi qu'on y proscrira absolument le bourrage formé de poussières charbonneuses ou de matières pouvant en contenir. Il est souvent utile de fournir chaque jour aux ouvriers une petite provision d'argile humide pour qu'ils en constituent leurs bourres, et ne fassent pas usage de débris de roches mélangés de charbon.

Il y a lieu toutefois de se demander si l'emploi de matières semi-fluides, prédisposant au débourrage, ne constitue pas une erreur, et s'il ne conviendrait pas, suivant des vues présentées par M. Ramu (de Raon-l'Étape), de leur substituer (sous les réserves du N° 175 relatives au quartz) des substances dures, ou du moins demi-dures, s'arc-boutant sous la pression comme le fait le sable, au lieu de s'étirer sous son effort. L'expérience n'a pas encore tranché cette question controversée, mais elle mérite d'attirer l'attention.

177 — Afin de diminuer les risques d'inflammation des milieux grisouteux par les coups de mines, on a cherché à constituer la bourre de manière à lui communiquer la propriété d'abaisser la température des gaz produits par la combustion. Le principe des nombreuses dispositions essayées à cet égard consiste à y introduire de l'eau, en vue d'absorber une certaine quantité de chaleur par sa volatilisation.

Digitized by Google

Avec la cartouche Mac-Nab [1], l'explosif est entouré d'une certaine quantité de ce liquide contenue dans un étui de fer-blanc. Il en est de même pour la cartouche Settle; la matière explosive y est maintenue au moyen d'un cadre en fil de fer au milieu d'un sac en papier imperméable rempli d'eau.

Ces dispositifs présentent l'inconvénient d'exiger une augmentation importante du diamètre du trou de mine. Il n'en est pas de même des *bourres de sûreté* ayant la forme de cartouches ordinaires que l'on place immédiatement après la charge, ou quelquefois auparavant. La bourre Heath and Frost contient 94 parties d'eau, 5 de savon, 1/2 d'amidon et 1/2 de colle. La bourre Chalon-Guérin [2] est formée de *gélosine* qui renferme 98 pour 100 d'eau, et provient, paraît-il, d'algues marines. Elle doit rester immergée jusqu'au moment de son emploi.

On a également proposé des bourres dans lesquelles ces matières aqueuses sont remplacées par des sels métalliques dont l'eau de cristallisation doit être mise en liberté par la chaleur des gaz de l'explosion.

En réalité plusieurs de ces systèmes fournissent un bon bourrage, mais, au point de vue de la sécurité, ils ne semblent pas plus efficaces qu'une bourre d'argile. Avec les explosifs brisants, l'action est trop rapide pour que la quantité d'eau volatilisée puisse être notable, et exercer une influence réelle.

178 — *Bourrage.* — L'opération du bourrage se fait de la manière suivante quand on emploie l'épinglette. Celle-ci étant préalablement bien graissée d'huile on de suif pour faciliter ultérieurement sa sortie, on l'introduit dans le trou et on la pique dans la cartouche, de manière que sa pointe pénètre à coup sûr dans le sein de la poudre, mais en restant assez loin du fond pour éviter de faire feu contre la roche. On l'appuie alors sur le bord de la paroi.

Le mineur introduit une première bourre, qu'il pousse très dou-

(1) *CRM*, 1879, 261.
(2) *CRM*, 1889, 17.

Digitized by Google

cement au fond, afin d'éviter de produire l'effet du briquet à air. On sait en effet que ce petit appareil, quand on actionne violemment son piston, peut échauffer l'air au point de le rendre lumineux dans l'obscurité, ce qui dans le cas actuel aurait pour résultat l'inflammation de la poudre. Lorsque cette matière est parvenue au fond, on la comprime doucement et progressivement.

On ajoute ensuite d'autres bourres, sans avoir alors besoin de prendre les mêmes précautions. Il convient de tourner de temps en temps l'épinglette sur elle-même, pour éviter qu'elle ne se coince dans son logement.

Lorsque le bourrage est achevé, l'on entoure la partie de l'épinglette qui émerge immédiatement de la bourre, d'une petite collerette d'argile mouillée, de peur qu'au moment où l'on retirera l'instrument, les bords sans cohésion ne viennent à s'écailler, en laissant tomber dans le trou des fragments qui l'oblitéreraient et prépareraient un raté.

On passe alors le bourroir dans l'anneau de l'épinglette et, en tirant avec les deux mains, ou tournant cette aiguille sur elle-même, on l'arrache du trou de mine. Elle laisse libre un passage pour la mise du feu que nous décrirons dans un instant.

179 — Avec la mèche de sûreté le bourrage est simplifié, et rendu plus sûr par la suppression de l'épinglette.

Cette mèche est une cordelette renfermant, suivant son axe, une traînée de poudre qui brûle avec lenteur [1]. Après l'avoir attachée à la cartouche avec les soins que nous indiquerons, on introduit celle-ci dans le trou de mine, suspendue au bout de la cordelette comme un fil à plomb. On appuie contre la paroi le tronçon d'étoupille que l'on a coupé de longueur, de manière qu'une certaine portion excède au dehors (N° 184). Puis on continue dans les conditions ordinaires, sauf l'absence de l'épinglette, en enfonçant la première bourre avec beaucoup de précaution, et en prenant soin de ne pas couper ni éventrer la mèche.

[1] Chalon, Améliorations au tirage des mines, *Génie civil*, XXIV, 199. — Perrin, Système Lamagère, *CRM*, 1887, 118.

Digitized by Google

Pour écarter ce dernier danger, M. Lagot a proposé[1] l'emploi très judicieux d'un tube ouvert aux deux bouts, à travers lequel on enfile l'étoupille. Ce tube se place dans l'échancrure du bourroir, ainsi qu'on le fait pour l'épinglette, mais avec cette différence qu'il ne reste pas comme elle noyé dans la masse de la bourre. On le remonte au contraire au fur et à mesure, de manière qu'il soit entièrement sorti à la fin du bourrage, après avoir, pendant la durée de cette opération, défendu la mèche comme une armure.

180 — Le bourrage ayant pour but d'opposer une résistance à la sortie des gaz de l'explosion par le trou de mine, il faut qu'il soit assez serré et qu'il s'étende sur une assez grande hauteur pour que le coup ne *débourre* pas. Sa longueur, dans les chargements formés d'un certain nombre de cartouches, est d'au moins la moitié de celle de la charge; elle lui devient égale, ou même supérieure, pour les petites charges.

Dans les exploitations non grisouteuses, le bourrage peut être moins long pour les explosifs brisants qu'avec la poudre noire. Mais quand il s'agit de chantiers grisouteux, comme nous le verrons plus loin (N° 225), cette opération prend une importance capitale et doit être particulièrement soignée. En France, les règlements exigent[2] que dans les travaux de cette catégorie le bourrage, fait soigneusement avec des matières plastiques, ait une hauteur de 20 centimètres au moins pour les premiers 100 grammes de la charge, avec addition de 5 centimètres pour chaque centaine de grammes ajoutée; sans toutefois que l'on soit jamais obligé de dépasser 50 centimètres.

§ 5

MISE DU FEU

181 — *Ancienne méthode.* — Lorsque l'on a eu recours à l'épinglette pour un coup de mine chargé de poudre noire, on peut

(1) *CRM*, 1881, 147, 151, 188; 1882, 165.

(2) Circulaire ministérielle du 1er août 1890. *Annales*, partie administrative, 8e, IX, 370.

Digitized by Google

employer, pour porter le feu dans le sein de la charge, deux moyens différents : le *fétu* ou la *canette*.

Le *fétu* se prépare en prenant une paille de blé et la coupant au-dessous de deux de ses nœuds. Il constitue ainsi un vase cylindrique extrêmement étroit et profond. On le remplit de poudre, et l'on attache autour de l'ouverture une petite collerette de terre glaise humide qui sert, après qu'on l'a descendu dans le logement de l'épinglette, à le suspendre à l'orifice de ce conduit. Lorsque la poudre sera enflammée, sa masse s'écoulera hors du fétu sous la forme gazeuse par l'ouverture supérieure, en déterminant, comme pour les fusées des artificiers, un mouvement de recul de cette paille jusque dans la cartouche, dont elle détermine l'explosion.

182 — La *canette* ou *raquette* est, comme le fétu, fabriquée directement par l'ouvrier qui devra s'en servir. Il délaye dans une assiette une bouillie très claire de poudre et d'eau gommée. Il y trempe des feuilles de papier coupées à la grandeur convenable, et les roule ensuite sur la pointe de l'épinglette, sous la forme de petits cônes très allongés. On les sèche à une chaleur douce. Au moment d'en faire usage, le mineur enfile les uns dans les autres un nombre suffisant de ces cornets, qu'il introduit ensemble dans le vide laissé par l'épinglette jusqu'à la cartouche. Le feu, mis à l'extrémité, se propagera par continuité jusqu'au contact de la charge.

183 — Avec le fétu, comme avec la canette, le temps de la propagation serait infiniment trop court pour la retraite du fire-man chargé de l'inflammation. Un intermédiaire à combustion lente est indispensable : c'est la *mèche soufrée*. On l'obtient en plongeant dans du soufre fondu des mèches de coton. Au moment de s'en servir, on la coupe de la longueur voulue, d'après sa vitesse de combustion que le mineur connaît approximativement par son expérience. Il passe ce fragment dans la flamme de la lampe, afin que ce flambage détruise à coup sûr les traces de poudre qui auraient pu rester adhérentes à la mèche dans ce maniement, et qui communiqueraient le feu avec une rapidité instantanée sur

Digitized by Google

toute sa longueur. On fixe cette mèche à l'amorce avec un peu de suif. Si le courant d'air est modéré, l'ouvrier la tourne à l'inverse de la ventilation, de manière que celle-ci rabatte la flamme sur la mèche. Si le vent est violent, on dispose un abri pour éviter qu'il ne l'éteigne. Il ne reste plus alors qu'à enflammer la mèche avec la lampe.

184 — *Mèche de sûreté.* — L'*étoupille de sûreté* (mèche Bickford, fusée), est actuellement employée presque partout [1]. Elle se compose d'un fil imprégné de pulvérin, et entouré d'une double ou triple enveloppe de fils de jute enroulés en hélice. La cordelette ainsi obtenue est recouverte d'une couche de colle et de talc en poudre pour la *mèche blanche*, ou de goudron pour la *mèche goudronnée*. Elle est en outre protégée par une ou plusieurs autres enveloppes en ruban ou en fils de jute, dont le nombre s'élève parfois à quatre. Dans le tirage sous l'eau, on fait usage de mèches à enveloppe de gutta-percha.

Les fusées ordinaires coûtent 30 à 50 centimes par rouleau de 10 mètres; le prix s'élève à 1 franc pour les mèches à la gutta.

La vitesse de combustion varie en général de 80 centimètres à $1^{m},20$ par minute [2]. Parfois cependant, avec des étoupilles de qualité défectueuse, insuffisamment serrées par exemple, la vitesse s'accélère, et il se produit une explosion prématurée de la charge. Quelquefois aussi, par suite d'une solution de continuité dans l'âme de la mèche, ou de quelque autre cause, telle qu'une tache de graisse sur l'enveloppe, la combustion se ralentit considérablement et le feu peut couver pendant longtemps. Ces *longs feux* ont été la cause de nombreux accidents, les ouvriers croyant à un simple *raté* et revenant à leur chantier, pour s'y trouver surpris par une détonation tardive. Afin d'éviter autant que possible de tels événements, on ne devra employer que des étoupilles de fabrication très soignée.

Pour mettre le feu aux mines avec la mèche Bickford, on com-

[1] Clichet et Kinsmen, *Différents types de mèches de sûreté*, 1889. — Chalon, *Génie civil*, XXIV, 199. — Perrin, *CRM*, 1887, 118.

[2] Sébert, *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, II, 722.

Digitized by Google

mence par en couper un bout de la longueur voulue. Les mineurs s'arrangent en général de manière que l'extrémité antérieure dépasse de 25 centimètres seulement l'orifice du trou de mine, ce qui est souvent insuffisant; il faut que la longueur de la mèche comptée à partir de la dernière cartouche soit au moins de 80 centimètres.

Pour les coups chargés de poudre noire, on peut se contenter de placer le bout de la fusée au contact de la poudre afin d'allumer cette dernière : on effiloche quelques fils de l'extrémité, et on l'introduit dans la cartouche en la nouant à la gorge à l'aide de ces mêmes fils.

S'il s'agit de poudre comprimée, on enfile l'étoupille à travers les cartouches, que l'on associe en nombre convenable. On coupe en biais son extrémité pour mettre largement à nu par cette section elliptique l'*âme* de poudre qu'elle renferme; puis on rebrousse ce bout, et on le réintroduit par dessous dans l'orifice central de la cartouche inférieure, en appliquant sa surface plane contre la paroi interne de celle-ci, afin d'assurer la communication du feu. Cette disposition de la mèche en forme de boucle ne lui permet pas de remonter, et l'on peut ainsi descendre la charge suspendue à son extrémité.

185 — Avec les explosifs brisants, un simple allumage par la poudre de la fusée ne suffit plus pour provoquer la détonation; il faut interposer entre cette poudre et la matière explosive une capsule contenant une substance fulminante. La combustion de l'étoupille assure la détonation de cette dernière, laquelle entraîne celle de l'explosif contenu dans les cartouches. La poudre noire elle-même semble mieux déflagrer avec une capsule qu'avec la mèche seule.

Les *capsules*, *amorces*, ou *détonateurs* sont de petits cylindres en cuivre de 15 à 50 millimètres de longueur et de 4 à 5 millimètres de diamètre, fermés à l'une de leurs extrémités. Au fond du cylindre, se trouve une certaine quantité de fulminate de mercure, dont le poids varie de 0 gr, 30 à 1 gr, 5 et même 2 grammes. Ce corps, qu'il suffit de porter à 187 degrés pour qu'il fasse explo-

Digitized by Google

sion, n'est pas employé pur (N° 217) ; on y mélange, aussi intimement que possible, la moitié de son poids au moins d'une autre substance telle que du chlorate ou de l'azotate de potasse, de la poudre fine, etc. On a proposé aussi de remplacer le fulminate par un mélange de nitroglycérine et de fulmicoton ou d'azotate de potasse. Dans les capsules dites *renforcées*, le fulminate est comprimé et recouvert d'une sorte de petit couvercle en cuivre, percé d'un trou central.

La charge des capsules est proportionnée à la nature de l'explosif employé; il importe qu'elle soit suffisante pour assurer la détonation de ce dernier, même à l'air libre (N° 208).

Ces amorces sont conservées dans des boîtes ou des étuis, qui doivent être placés à une certaine distance des récipients renfermant d'autres matières explosives.

186 — C'est la dernière cartouche introduite dans le trou de mine qui se trouve réunie à la mèche de sûreté par l'intermédiaire de l'amorce de fulminate; la préparation de cette *cartouche-amorce* demande beaucoup de soins.

On coupe l'extrémité de la mèche bien nettement, de manière que la section soit normale, et on l'introduit aussi loin que possible dans le tube du détonateur. On évite pour cette manipulation toute friction sur le fulminate, qui pourrait en provoquer l'explosion. Il est utile que la mèche entre à frottement dans la capsule. On sertit alors cette dernière tout autour, en employant des pinces spéciales à cet usage. Il faut interdire aux mineurs d'effectuer ce serrage avec leurs dents, comme ils y sont quelquefois portés.

La réunion de la mèche ainsi amorcée et de la cartouche s'effectue en ouvrant à l'une de ses extrémités le papier qui enveloppe cette dernière ; on fait pénétrer la capsule des deux tiers au plus de sa longueur au milieu de la matière explosive ; puis on rabat le papier de la cartouche, et on l'attache solidement sur la mèche à l'aide d'une ficelle. La cartouche-amorce est enfin descendue doucement dans le trou, suspendue à l'étoupille.

Les mineurs doivent veiller avec le plus grand soin, au cours de cette opération, à ce que la mèche ne se trouve pas au contact

Digitized by Google

de l'explosif; car dans ce cas celui-ci pourrait brûler sans détoner, ce qui serait non seulement une cause de raté, mais une source de dangers graves au point de vue du grisou. Pour éviter que les ouvriers n'enfoncent trop profondément la mèche amorcée au sein de la matière explosive, on donne quelquefois à la cartouche-amorce une longueur très réduite : 20 à 30 millimètres.

On ne saurait trop appeler l'attention des mineurs sur les dangers que présente le maniement d'une cartouche amorcée; il doit être rigoureusement prescrit de n'amorcer une cartouche qu'*au moment même de son emploi*; toute cartouche amorcée non utilisée doit être immédiatement séparée de son amorce et mise en lieu sûr.

Une fois la cartouche-amorce placée par-dessus les autres, et le bourrage effectué avec les précautions voulues (N° 179), il ne reste plus qu'à enflammer la mèche. Cet allumage se fait à la flamme de la lampe dans les mines exemptes de grisou; mais, dans les exploitations grisouteuses, il doit être entouré de précautions spéciales que nous indiquerons dans un instant.

187 — *Emploi de la mèche de sûreté dans les milieux grisouteux.* — La mèche de sûreté présente, au point de vue de l'inflammation du grisou, plusieurs dangers qu'il importe d'éviter [1].

Un premier péril résulte des projections d'étincelles qui peuvent se produire au travers des enveloppes, pendant que le feu la parcourt dans sa longueur; il suffit en effet qu'un grain de poudre un peu gros existe dans l'âme de la fusée, pour que sa combustion provoque en ce point une petite explosion qui déchire l'enveloppe, en projetant dans l'atmosphère des étincelles et des particules incandescentes.

A ce point de vue, l'on doit proscrire dans les exploitations grisouteuses l'emploi des mèches goudronnées. Il faut en outre ne faire usage que d'étoupilles fabriquées avec soin, dont l'âme ne contienne que du pulvérin très fin et bien tamisé, et dont on ait renforcé les enveloppes en multipliant leur nombre. M. Müller a

[1] Janet, *Annales*, 9e, I, 351.

Digitized by Google

même proposé d'entourer la mèche d'un treillis de fils de fer formant toile métallique.

L'inflammation de l'extrémité libre est aussi une cause de danger, soit par le fait du corps incandescent à l'aide duquel on effectue cet allumage, soit en raison de la gerbe d'étincelles qui fuse à ce moment de l'axe de la mèche.

Pour la mise en feu, les mineurs se servent souvent d'amadou, qu'ils allument tantôt avec un briquet, tantôt en aspirant avec une paille la flamme de leur lampe de sûreté contre la toile métallique, et en appliquant l'amadou contre la partie incandescente, tantôt enfin avec un fil de fer, assez fin pour passer à travers la toile, qu'ils font rougir dans la flamme. Les étincelles du briquet ne sont pas dangereuses en présence du grisou, comme nous le verrons plus tard; mais l'usage de la lampe de sûreté n'est pas exempt de péril, et il a en outre l'inconvénient de détériorer le tamis métallique; il n'est d'ailleurs possible qu'avec les lampes à simple tamis, sans diaphragme ni cuirasse. On ne saurait en outre se dissimuler que l'amadou peut enflammer les mélanges grisouteux. Ces procédés ne présentent donc aucune sécurité.

Quant à l'allumage du grisou par une gerbe d'étincelles jaillissant du bout de la mèche, on se contente en général, pour l'éviter, de donner à cette dernière une longueur telle que son extrémité se trouve près du sol du chantier; cette précaution, bonne en elle-même, n'est cependant pas suffisante.

On ne se mettra définitivement à l'abri du danger qu'en allumant la mèche dans un espace clos et à l'aide d'un corps incandescent qui ne se trouve à aucun moment au contact de l'atmosphère du chantier. L'extrémité de la fusée ne doit être ramenée à l'air libre que lorsqu'elle a brûlé sur 8 à 10 centimètres de longueur, c'est-à-dire quand elle ne projette plus d'étincelles au dehors; l'ouvrier boutefeu, en tenant la mèche à la main, est prévenu par la chaleur de l'enveloppe que la combustion atteint la distance convenable.

188 — L'un des plus anciens procédés de ce genre est dû à M. Lagot, qui a eu l'idée de placer du *charbon nitré*, brûlant sans flamme et d'une manière permanente, au fond d'un tube ouvert

Digitized by Google

par le haut, dans lequel on plonge momentanément le bout de l'étoupille, comme on faisait autrefois avec les allumettes du briquet phosphorique [1]; mais il n'est pas établi que le charbon nitré ne puisse enflammer le grisou. Quelquefois aussi un de ses fragments allumés tombe à terre, ce qui risque d'occasionner un incendie.

On a également proposé de fixer à l'extrémité de la mèche un tube contenant des substances dont la réaction chimique mutuelle détermine une élévation de température, suffisante pour enflammer la poudre. M. Roth [2] se sert dans ce but de chlorate de potasse, sur lequel il fait agir de l'acide sulfurique à travers une ouverture capillaire; M. Mortier [3] emploie un globule de sodium, au contact duquel il amène de l'eau, en perçant le fond du tube qui est plongé dans un récipient spécial.

L'*allumeur Bickford* (fig. 148) repose sur le même principe [4],

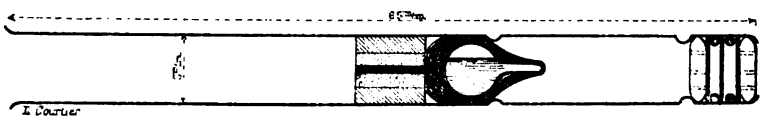


Fig. 148. — Allumeur Bickford.

mais il est plus pratique. Le tube dont on coiffe le bout de la fusée, en l'y sertissant solidement avec une pince spéciale, contient vers sa partie médiane une petite ampoule d'acide sulfurique, qu'entoure un morceau de mousseline imprégnée de chlorate de potasse et de sucre, et que l'on écrase avec la pince pour provoquer l'inflammation. L'ampoule est maintenue en place, du côté où l'on introduit la fusée, par un bout de mèche Bickford; à l'extrémité opposée, le tube se termine par des boutons de porcelaine percés de trous, et des rondelles de toile métallique qui refroidissent les gaz de la com-

(1) *CRM*, 1881, juin; 1884, août.

(2) *Œsterr. Zeitsch. für Berg. und Hüttenwesen*, 1889, 49. — Le même inventeur a proposé de supprimer la mèche, en faisant agir le chlore gazeux sur l'antimoine au contact du fulminate de mercure de la capsule. Le chlore serait insufflé de loin dans le trou de mine à l'aide d'une mince conduite traversant le bourrage (*Bull. Soc. d'enc.*, 4e, X, 1317; *Midland Institute of mining engineers*, août 1895.)

(3) *CRM*, 1887, 99.

(4) *CRM*, 1891, 34.

Digitized by Google

bustion au moment de leur dégagement. Cet allumeur est d'un prix assez élevé (0fr,12), mais il donne de bons résultats entre les mains d'ouvriers soigneux. Il présente l'avantage, comme les deux systèmes précédents, de permettre au mineur de se retirer de suite, sans attendre que la mèche ait brûlé sur une dizaine de centimètres.

M. Bourdoncle [1] a imaginé un procédé qui a été mis en usage dans quelques mines. Il consiste à faire pénétrer l'extrémité de la mèche au fond d'un briquet à air, dont le fonctionnement produit une température assez élevée pour allumer la poudre.

Le *pistolet de mine* [2], employé notamment dans les exploitations de Lens (fig. 149), utilise pour l'allumage de la mèche la déto-

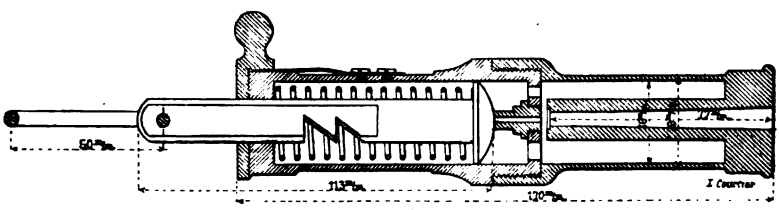


Fig. 149. — Allumeur de Lens.

nation d'une amorce fulminante. Le porte-amorce, percé d'un trou central, débouche devant l'extrémité d'un tube tronconique en cuivre, dans lequel on coince solidement l'extrémité de la fusée. Une tête hémisphérique, projetée par un ressort à boudin, vient frapper sur l'amorce, et les gaz produits par la combustion se dégagent au milieu des espaces libres ménagés à l'intérieur de l'appareil. M. Müller a proposé un système analogue [3].

Nous signalerons enfin la lampe de la Société « Heath and Frost » [4], construite en vue de l'allumage des coups de mine dans les milieux grisouteux. Un tube vertical de 6 millimètres de diamètre traverse le réservoir d'huile et s'élève jusqu'au chapeau de la lampe; il est fermé à la partie supérieure par des toiles métalliques. On introduit la mèche dans ce canal de manière que son

(1) *CRM*, 1891, 3. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XV. — *Génie civil*, XVIII, 416.
(2) *Annales*, 9e. I, 364.
(3) *Œsterr. Zeitschrift für Berg. und Hüttenwesen*, 1889, 62.
(4) *Annales*, 9e, I, 366.

Digitized by Google

extrémité se trouve au niveau de la flamme; à cette hauteur le tube est percé de deux petits trous opposés, recouverts normalement par une gaine cylindrique. La manœuvre d'une poignée extérieure a pour effet de soulever la gaine, puis de faire passer par les deux trous un fil de fer qui rougit dans la flamme, et enfin de ramener l'extrémité incandescente du fil dans l'intérieur du tube, où elle allume la fusée.

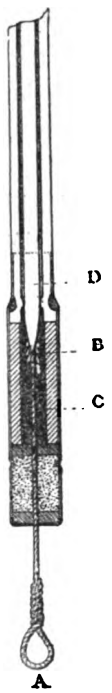


Fig. 150.— Étoupille de friction Ruggieri.

189 — *Amorces de friction.* — Le principe de ce mode d'inflammation est le même que celui des étoupilles de l'artillerie.

Dès 1868, on a employé aux mines d'Anzin des amorces à friction inventées par M. Cousin, de Condé-sur-Escaut, mais elles furent bientôt abandonnées.

Plus tard, MM. Mac Nab, en Angleterre, et Ruggieri, en France, ont proposé l'usage d'amorces de ce genre pour le tir des mines. Celle de ce dernier inventeur est représentée par la figure 150. En A est attachée une longue ficelle, que le mineur tire de loin après s'être mis en sûreté. Elle sert à amener le rugueux B dans le fulminate C, qui s'enflamme et allume la matière fusante D. Celle-ci recule, et porte le feu dans la charge. Cette étoupille de friction est en effet engagée dans un trou pratiqué avec l'épinglette, comme pour les canettes. Ce système ne s'est pas répandu ; il ne pouvait être employé dans les mines à grisou.

L'amorce à friction, inventée par le lieutenant-colonel autrichien Lauer [1], ne projette aucune flamme au dehors, et se recommande pour l'allumage des coups de mine pour les exploitations grisouteuses. L'étoupille contenant le fulminate est enfoncée dans la cartouche-amorce elle-même, et son rugueux se trouve relié à un fil de laiton qui débouche au dehors à travers un tube étroit logé

[1] *Bull. min.*, 3e, VI, 229 ; 3e, III, 707.

Digitized by Google

dans le bourrage. Celui-ci doit être suffisamment serré pour bien retenir le tube. On attache le fil métallique à une corde qui permet de le tirer de loin.

190 — *Tir électrique.* — L'emploi de l'électricité pour le tirage des mines [1] remonte à Priestley en 1767; il possède un grand nombre d'avantages.

L'un des principaux est d'assurer la simultanéité rigoureuse avec le tir par volées (N° 201). En outre le tir électrique évite toute production de flamme au moment de la mise du feu, point essentiel dans les mines grisouteuses. Il présente une sécurité précieuse pour les travaux spéciaux où les ouvriers ne peuvent s'éloigner rapidement après l'allumage, tels que les fonçages de puits. Il permet de tirer d'aussi loin que l'on veut, et même sans la présence d'un seul homme à l'intérieur, de manière à réduire à de simples dégâts matériels les dangers d'une explosion de grisou, si elle vient à être produite par le coup de mine. Il permet même de tirer sous l'eau. Il évite les fumées désagréables des mèches. Il supprime enfin la possibilité des longs feux, en évitant ainsi des pertes de temps. Avec des amorces bien fabriquées, le coup qui n'est pas parti de suite ne partira plus.

Les appareils spéciaux au tir électrique sont les *amorces* que l'on

[1] Castel, *Annales*, 5e, II, 8. — Jutier, *Annales*, 7e, XVI, 243. — Ollier, *CRM*, juillet 1877, 3. — Helliot, *CRM*, août 1878, 85. — Grille, *Bull. min.*, 2e, I, 779. — Tirage par l'électricité, *Rev. univ. d. m.*, XXVII. — Guchez, *Rev. univ. d. m.*, XXIX, 235. — Habets, *Rev. univ. d. m.*, XXXVI, 75. — Pérard, *Rev. univ. d. m.*, 2e, V, 379. — *Rev. univ. des mines*, 3e, IV, 205 et VII, 147. — Lenicque, *Pièces annexées*, etc., 2e fasc. 229. — Champrois et Pellet, Applications de l'électricité à l'art des mines, *Annales de physique*, mai 1875. — Paul Chalon, *Le tirage des mines par l'électricité*, Paris, Baudry, 1888. — Dumoncel, *Applications de l'électricité*, V, 384. — *Comptes rendus*, CII, 1158. — *CRM*, 1881, 214 et 1888, 148. — *Rapport du Jury international sur l'Exp. univ. de* 1889, gr. IV, cl. 62, 579. — *Génie civil*, X, 338. — *Lumière électrique*, 1883, 2e sem., 571 ; XI, 301 ; XX, 457 et 576 ; XVIII, 64 ; XXXI, 76 ; XXXV, 170, 231 et 431. — *Industrie électrique*, 1894, 70. — *Annales des travaux publics de Belgique*, XLVIII. — Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 185. — Julius Striedinger, On igniting blasts by means of electricity, *Transactions of the American Society of civil Engineers*, janvier 1878. — Sir Frederick Abel, Electricity applied to explosive purposes, *Inst. of civil Engineers*, 19 avril 1883. — Kinder, On electric Blasting in China, *Proceedings of Inst. of civil Engineers*, LXXX, n° 2034. — Vernon Harcourt, On Blasting operations at Hellfate, *Proceedings of the Inst. of the civil Engineers*, LXXXV, part. III. — Karl Zickler, *Die elektrische Minenzündung*, Brunswick, 1888, in-8°.

Digitized by Google

place dans les cartouches comme des détonateurs ordinaires, les *exploseurs* qui produisent le courant, et les *conducteurs* qui relient les amorces à ces derniers.

191. — Les *amorces électriques* se présentent en général sous la forme de petits cylindres en métal ou en carton, dans lesquels pénètrent à travers un bouchon de bois, de soufre ou de caoutchouc durci, deux fils conducteurs recouverts d'une enveloppe isolante. Ces cylindres sont remplis d'une *poudre spéciale* qui est enflammée au moment du passage du courant, soit pour les *amorces à fil* par l'incandescence d'un filament métallique qui réunit les extrémités des deux conducteurs, soit dans les *amorces à étincelle* par l'étincelle électrique qui jaillit entre ces deux extrémités. Si l'on fait usage de poudre noire, la combustion de la poudre spéciale provoque directement la déflagration des cartouches; pour les coups chargés d'explosifs brisants, elle fait détoner une capsule de fulminate fixée à la suite de l'amorce.

Le filament des *amorces à fil* présente une longueur de 4 à 10 millimètres; il est parfois rectiligne, le plus souvent enroulé en spirale, ce qui le rend moins fragile; son diamètre est en général voisin de $\frac{1}{20}$ de millimètre, mais il a été dans certains cas réduit à $\frac{1}{200}$. Le métal qui le constitue doit être inaltérable au contact de l'eau et de la poudre spéciale; il doit être tenace, difficilement fusible, et doué d'une résistance électrique suffisante pour que le courant électrique y développe l'élévation de température nécessaire. Il est en outre indispensable, dans le tir simultané de plusieurs mines, que les amorces possèdent un égal degré de sensibilité, ce qui exige que le métal des filaments soit d'une homogénéité absolue. Les substances qui remplissent le plus complètement ces divers desiderata sont les alliages du platine avec l'argent et l'iridium, et c'est à eux que l'on donne en général la préférence.

Nous pouvons citer, parmi les appareils à fil, les amorces anglaises et danoises [1], ainsi que celles d'Abel et de Manet [2].

Les *amorces à étincelles*, plus fréquemment employées et moins

[1] Chalon, *Traité des explosifs modernes*, 155.
[2] *Mémorial des poudres et salpêtres*, 1890, 72.

Digitized by Google

coûteuses que les précédentes, doivent être construites de telle façon que l'intervalle dans lequel jaillit l'étincelle soit absolument constant d'un appareil à l'autre. Un accroissement exceptionnel de cet intervalle provoquerait des ratés. D'autre part il faut que toutes les amorces soient également sensibles, condition indispensable dans le tir par volée. Il est essentiel enfin que cet intervalle ne soit pas exposé à se modifier pendant le transport et le bourrage.

Pour les amorces Nobel (1), les fils conducteurs, isolés à la gutta, ont $0^{mm},6$ de diamètre et sont maintenus à leur écartement par un noyau de soufre au milieu duquel ils se trouvent fixés. Ces appareils comportent toujours un détonateur au fulminate, et sont spécialement établis pour le tir dans les milieux humides.

Les amorces Scola-Ruggieri (fig. 151) sont constituées (2) par des

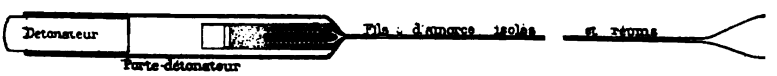


Fig. 151. — Amorce Scola-Ruggieri.

fils de $0^{mm},4$ qui sont appliqués sur les deux faces opposées d'une mince plaquette de *vulcanite* de $3^{mm},5$ de largeur et de 12 millimètres de longueur, et s'y trouvent fixés par plusieurs tours de fil de chanvre. L'ensemble des conducteurs et de la plaquette est cisaillé nettement près de cette attache; puis il est fixé à l'aide de cire dans une petite cartouche en carton de 4 millimètres de diamètre, remplie de la poudre spéciale et fermée à l'autre extrémité par un tampon d'étoupille. La distance entre les extrémités des fils est de $\frac{75}{100}$ de millimètre. Pour l'usage des explosifs brisants on enfile la petite cartouche, comme dans la figure 151, à l'intérieur d'un tube en carton portant le détonateur.

Nous citerons également les amorces à étincelle d'Ebner, d'Abbegg, de Bréguet, autrichienne, etc.

Les *poudres spéciales* qui chargent les amorces électriques sont des mélanges, en proportions variables suivant diverses for-

(1) *Rev. univ. d. m.*, 3e, VII, 147.

(2) *Rev. univ. d. m.*, 3e, IV, 231. — *Comptes rendus*, CII, 1157. — *Lumière électrique*, XX, 456. — *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, II, 721.

Digitized by Google

mules, de sous-sulfures et sous-phosphures de cuivre, de sulfure d'antimoine, de chlorate de potasse, de fulminate, de charbon finement pulvérisé. Il convient que leur aptitude à la détonation ne soit pas trop prononcée, afin qu'elles puissent supporter les secousses du bourrage. En outre, pour les amorces à étincelles, la résistance électrique présente une importance particulière; si en effet elle est trop grande, l'inflammation exigera un courant de potentiel élevé; si elle est trop faible, le courant pourra passer sans produire d'étincelle, ce qui déterminera un raté. Enfin dans les mines à grisou, il importe que la combustion de cette poudre développe aussi peu de flamme que possible.

Pour éviter d'une manière absolue la possibilité des longs feux, et conserver ainsi aux amorces électriques l'un de leurs principaux avantages, il est utile que l'enveloppe qui renferme la poudre spéciale, si elle est en carton, soit rendue incombustible; et de même pour les autres matières telles que le papier, les fils, etc., qui entrent dans la fabrication des amorces.

192 — Les *exploseurs* servant à la production du courant électrique comprennent des types très nombreux. En dehors des piles et des accumulateurs (peu employés en raison des difficultés que présentent dans les travaux leur transport et leur entretien), ces appareils peuvent se ranger en trois catégories : machines électro-statiques, magnéto-électriques et dynamo-électriques.

Le choix d'un exploseur dépend avant tout des amorces employées, car la nature du courant à produire est très variable de l'une à l'autre.

D'une manière générale, les amorces à fil ou *de quantité* réclament un courant très intense, tandis que pour celles à étincelles ou *de tension*, il faut un courant de force électromotrice élevée. Dans les premières, en effet, la quantité de chaleur dégagée est représentée d'après la loi de Joule par Ri^2t, pour un fil de résistance électrique R que parcourt pendant le temps t un courant d'intensité i. Cette durée doit être aussi courte que possible; il faut donc, pour développer rapidement la quantité de chaleur voulue, augmenter l'intensité i.

Digitized by Google

Avec les amorces à étincelles, ce dernier élément présente moins d'importance; il s'agit au contraire d'avoir un courant de haute tension, afin que l'étincelle puisse franchir la distance qui sépare les extrémités des deux conducteurs; le voltage nécessaire dépend d'ailleurs de la conductibilité de la poudre spéciale. Mais les courants de cette nature nécessitent des précautions particulières à l'intérieur des mines à grisou, sous le rapport des étincelles qui peuvent se produire, soit entre les conducteurs, soit dans l'exploseur.

193 — Les *appareils électro-statiques*, qui ont été les premiers employés, se recommandent précisément par la tension électrique élevée qu'ils développent, avec une intensité suffisante pour ne pas exiger un isolement parfait des conducteurs. Ces machines permettent de faire sauter à la fois de nombreux coups de mine. Par contre, elles présentent de graves défauts; elles sont en général lourdes; leur entretien est difficile, surtout en présence de l'humidité; et il se produit dans ces exploseurs des étincelles inadmissibles pour les exploitations grisouteuses.

La plus employée est la machine Bornhardt [1], dans laquelle, à l'aide d'une manivelle, on fait tourner entre des coussins en peau de chat deux plateaux d'ébonite; l'électricité produite sur ces derniers charge, par l'intermédiaire de peignes, l'armature intérieure de deux bouteilles de Leyde. Les fils qui établissent la communication avec les coups de mine sont fixés à deux bornes, dont l'une est constamment reliée à l'armature extérieure. Après vingt ou trente tours de la manivelle, on met le feu aux charges en appuyant sur un bouton qui amène au contact de l'armature intérieure un levier relié à la seconde borne. Le poids de cet appareil est de 20 kilogrammes; il a pour dimensions $0^m,55$ de longueur sur $0^m,40$ de hauteur et $0^m,33$ de largeur. On se contente parfois du système à un seul plateau, qui pèse 10 kilogrammes.

194 — Les appareils *magnéto-électriques* sont ceux que l'on

[1] *Lumière électrique*, 1883, 422.

Digitized by Google

rencontre maintenant le plus fréquemment. Ils reposent sur le principe suivant. Quand on déplace l'un par rapport à l'autre une bobine de fils conducteurs isolés et un champ magnétique constitué par un système d'aimants permanents, il se produit dans la bobine un courant induit. La force électromotrice du courant étant, pour un travail mécanique déterminé, proportionnelle à la longueur du fil et en raison inverse de sa section, l'on peut constituer la bobine de manière à obtenir une tension élevée et par suite une intensité modérée, ou bien au contraire une faible tension avec grande intensité.

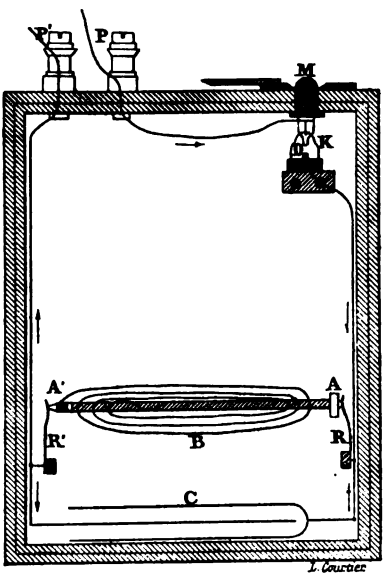


Fig. 152. — Exploseur Ducretet (schéma des circuits).

Ces appareils sont de deux genres différents : tantôt c'est la bobine qui se déplace dans un champ magnétique invariable; tantôt on modifie brusquement le champ magnétique, la bobine restant fixe.

On peut citer comme type du premier genre l'exploseur construit par la maison Ducretet [1], dont la figure 152 fournit une représentation schématique. Une manivelle extérieure actionne une roue dentée, qui agit sur le pignon A pour faire tourner une bobine Siemens B à fil enroulé en navette. Cette bobine se meut entre les branches d'aimants en fer à cheval placés verticalement et juxtaposés, lesquels ne sont pas indiqués sur la figure 152. Deux ressorts R et R' recueillent, aux extrémités A et A' de l'axe de la bobine, les courants alternatifs produits; ils communiquent d'une part avec les bornes de prise de courant P et P', d'autre part avec un condensateur C formé de feuilles d'étain

[1] *Rev. univ. d. m.* 3e, IV, 215.

Digitized by Google

séparées par des feuilles de mica. Pour se servir de l'appareil, on commence par faire tourner pendant quelque temps la manivelle, puis on lance le courant dans les mines en appuyant sur le bouton à ressort M qui ferme le circuit en D. Dès que la bobine se met à tourner, le courant produit charge le condensateur; mais à chaque demi-révolution il change de sens, et le condensateur se décharge alors dans la bobine, en ajoutant son action au courant induit de sens inverse qui prend naissance au même instant au sein de cette dernière. L'énergie des courants augmente ainsi progressivement jusqu'au moment où l'on appuie sur le poussoir M. Comme il peut se produire en D des étincelles, notamment lorsque l'on abandonne le poussoir, il est nécessaire, dans les mines grisouteuses, d'envelopper les deux pointes du contact D d'un *isolateur d'étincelles*, c'est-à-dire d'une petite calotte en caoutchouc K constituant une enceinte étanche. Un exploseur Ducretet du type ordinaire, pesant 4 kilogr. 1/4, peut enflammer à la fois quatre amorces à étincelles groupées en quantité, ou six à huit assemblées en dérivation.

L'exploseur Manet [1] se compose de deux induits qui tournent autour d'une même pièce polaire; un appareil spécial, commandé par un régulateur à force centrifuge, lance automatiquement le courant dans le circuit des amorces, lorsque la vitesse de rotation atteint une limite déterminée.

Parmi les appareils magnéto-électriques à bobines fixes, l'un des plus répandus est le *coup-de-poing* Scola-Ducretet muni d'armatures feuilletées (fig. 153). Le champ magnétique est produit par plusieurs aimants en fer à cheval F placés les uns au-dessus des autres. Entre leurs extrémités se trouvent interposés des faisceaux de lames de fer doux très minces, qui se réunissent au sortir des aimants pour former les noyaux feuilletés de deux bobines B. Au delà de celles-ci, une masse de fer doux M est appliquée contre ces armatures. Si on l'en écarte violemment en donnant un coup de poing sur la tête A du levier coudé C, la distri-

[1] *Bull. min.*, 3e, III, 1334; *Lumière électrique*, XXXIV, 451. — Exploseur de la Ingersoll Rock Drill Company. (Chalon, *Explosifs modernes*; *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, X, 1318.)

Digitized by Google

bution du magnétisme change pour les armatures fixées aux extrémités des aimants, et cette modification du champ magnétique induit dans les bobines un courant d'autant plus énergique que le mouvement de la masse M a été plus rapide. La structure feuilletée des armatures, en facilitant le déplacement du flux magnétique, favorise d'ailleurs la production du courant. Un dispositif spécial a pour but de n'envoyer le courant dans le circuit des mines que lorsque l'armature M a déjà effectué une partie de son mouvement. A cet effet, ce courant passe au début par un court

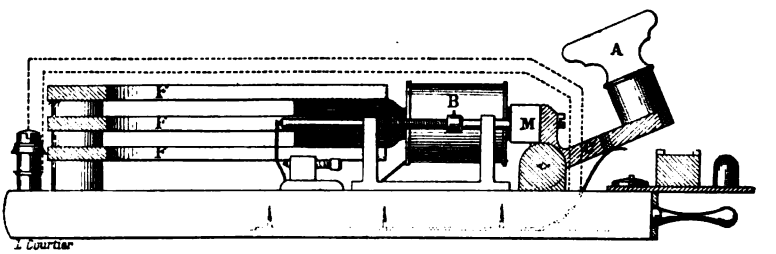


Fig. 153. — Coup-de-poing Scola-Ducretet à armatures feuilletées.

circuit réunissant en dérivation les deux extrémités du fil des bobines. Au moment où l'on interrompt ce court circuit, il peut se produire des étincelles au point de rupture; on les rend inoffensives dans les mines grisouteuses en faisant usage d'un isolateur d'étincelles analogue à celui dont nous avons parlé plus haut. L'appareil pèse 2 kilogr. 750; il enflamme deux ou trois amorces Abel; la machine grand modèle, de 10 kilogr. 500, en allume huit à dix. On ne peut guère employer les appareils coups-de-poing pour les amorces à fil.

195 — Les systèmes *dynamo-électriques* sont constitués en général par des bobines d'induction tournant dans le champ magnétique d'un ou plusieurs électro-aimants. Ces appareils peuvent aussi bien fournir des courants de haute tension que de grande intensité, et s'adaptent aux conditions d'usage les plus diverses. Mais leur poids les rend peu transportables, et en restreint presque toujours l'usage aux travaux, tels que les avaleresses, dans lesquelles l'installation de l'exploseur peut avoir une assez longue

Digitized by Google

durée. Pour les mines à grisou, les dynamos présentent l'inconvénient de produire des étincelles aux balais. Diverses solutions, plus ou moins efficaces, ont été proposées dans le but d'éviter cette cause de danger.

196 — Les *conducteurs* qui servent au tir électrique comprennent les fils *principaux* partant des exploseurs, et les fils *auxiliaires*, employés à proximité des mines pour réunir les premiers aux fils des amorces.

Les conducteurs auxiliaires sont fréquemment détériorés par le sautage des mines, et ne peuvent être utilisés qu'un petit nombre de fois. Ce sont simplement des fils de fer recouverts d'une mince enveloppe isolante; ils sont parfois supprimés, lorsque les fils fixés aux amorces ont eux-mêmes une grande longueur.

Les conducteurs principaux pourraient à la rigueur offrir une résistance plus grande quand on fait usage d'amorces à étincelles que lorsque l'on emploie des amorces à fil; car dans ce dernier cas il importe avant tout de ne pas diminuer l'intensité, tandis que dans le premier la résistance des conducteurs est négligeable par rapport à celle des amorces. Cependant on préférera toujours des conducteurs en cuivre peu résistants, la dépense supplémentaire que leur usage entraine étant insignifiante. Ils seront parfaitement isolés, pour éviter les étincelles qui provoquent des ratés et allument les mélanges grisouteux. Afin d'augmenter leur souplesse et leur durée, on les constituera plutôt de plusieurs fils fins que d'un fil unique. Une solution parfois usitée consiste à former le conducteur de retour de fils métalliques tressés sur le conducteur d'aller, préalablement isolé à la gutta. Les câbles armés sont rarement nécessaires.

On fait usage en général de conducteurs doubles, car il est difficile d'obtenir un bon retour par la terre. Aux mines d'Ynishir (bassin de Cardiff), on a pu cependant adopter ce dernier mode, parce que l'explosif employé permet de se contenter d'un bourrage à l'eau. Le fil de retour, dénudé et replié sur lui-même, plonge alors simplement dans le liquide du trou de mine [1].

[1] *CRM*, 1889, 11.

Digitized by Google

Les jonctions des divers conducteurs entre eux doivent être faites avec le plus grand soin; les extrémités à relier sont grattées ou décapées, puis tordues ensemble, liées à l'aide d'un fil de cuivre, et enveloppées d'une gaine de caoutchouc ou de toile goudronnée [1].

197 — Lorsqu'on veut allumer simultanément plusieurs mines, la *disposition des circuits* peut être faite en série ou en dérivation.

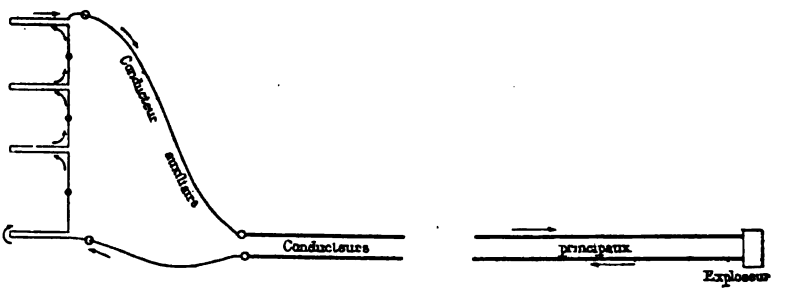


Fig. 154. — Disposition en série.

Avec la disposition en *série* (fig. 154), le courant passe successivement dans toutes les amorces sans être subdivisé. Pour les

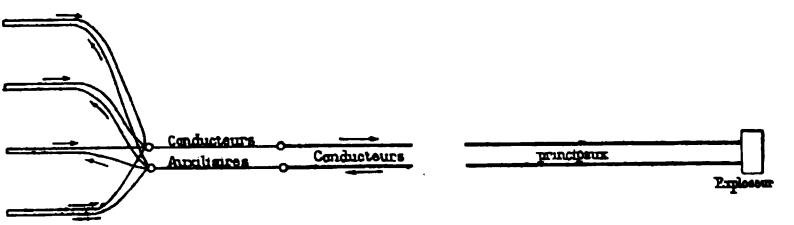


Fig. 155. — Disposition en dérivation.

circuits en *dérivation* (fig. 155), chaque amorce est reliée individuellement aux deux conducteurs principaux. On emploie aussi quelquefois des groupements mixtes.

La première disposition ne saurait être recommandée pour les amorces à fil, car il suffit qu'une seule s'enflamme avant les autres

[1] Les amorces à fil permettent d'essayer le circuit avant le tir en y lançant un courant de très faible intensité.

Digitized by Google

pour couper le circuit et les faire toutes rater. Elle convient mieux avec les autres, où l'étincelle, dès que la tension du courant est suffisante, se produit à la fois dans toutes les amorces. Le groupement en série est d'ailleurs le seul qui assure une simultanéité absolue; à ce titre il doit être préféré pour les mines grisouteuses, afin qu'une des explosions ne risque pas d'allumer le gaz qui aurait été mis en liberté par un coup de mine parti auparavant.

198 — Le tirage des mines à l'électricité, qui a été surtout employé d'abord pour les fonçages de puits ou les percements de grandes galeries, se répand maintenant de plus en plus dans la pratique courante des exploitations, à mesure que les exploseurs deviennent plus portatifs et plus perfectionnés.

Il nécessite, pour réussir, un emploi judicieux de ces derniers et des amorces. Il demande aussi des précautions spéciales pour ne pas provoquer d'accidents. Nous avons indiqué diverses mesures particulières à prendre dans les exploitations grisouteuses; la plupart ont pour but d'éviter la production d'étincelles. Mais bien des accidents ont eu pour cause, avec le tir électrique, l'explosion intempestive de coups de mine; à ce point de vue, il est essentiel de rendre impossible le fonctionnement des appareils avant l'instant opportun. Sauf au moment même de l'allumage, les conducteurs principaux seront toujours détachés des bornes de l'exploseur; les organes de commande, tels que les manivelles, seront enlevés de leurs places; les leviers des coups-de-poing seront calés avec soin.

Au point de vue économique, le tirage par l'électricité n'exige qu'une dépense de premier établissement peu considérable; les dépenses courantes sont encore maintenant plus élevées que pour le tir avec la mèche de sûreté ordinaire; mais dans les terrains humides, où la mèche à la gutta-percha serait nécessaire, la comparaison semble dès aujourd'hui à l'avantage de l'électricité [1].

199 — *Cordeaux détonants.* — On a essayé pour l'inflammation des coups de mine les cordeaux détonants, inventés par le général

[1] *Bull. min.*, 3e, III, 1326. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, VII, 173.

Digitized by Google

Sébert pour les usages militaires. Ils se composent d'un tube en étain ou en plomb, contenant du coton-poudre, de la dynamite ou de la nitromannite, que l'on a étirés de manière à réduire à 1 millimètre environ leur diamètre intérieur. La vitesse de propagation y est formidable : 5000 mètres environ par seconde pour le coton-poudre. On plonge simplement une extrémité du cordeau dans la cartouche d'explosif brisant, sans amorce. L'autre extrémité reçoit une capsule spéciale de fulminate ouverte aux deux bouts, au milieu de laquelle on introduit également une mèche de sûreté.

Lorsque l'on a recours à ce système, on peut bourrer avec moins de précautions, puisqu'il n'y a pas d'amorces dans la charge. Il présente en outre l'avantage important de supprimer les longs-feux. Le mineur peut revenir sur le coup après avoir enlevé la mèche. Ce procédé a surtout été employé pour tirer plusieurs coups de mine à la fois, sans le secours de l'électricité, avec une simultanéité que l'on peut considérer comme parfaite. Dans ce cas, on branche les uns sur les autres les cordeaux aboutissant aux diverses charges ; après avoir entaillé en long deux cordeaux au point de contact pour mettre l'explosif à nu, on les accole en les réunissant par une ligature. Ces assemblages demandent à être faits avec beaucoup de soin.

Le cordeau de coton-poudre est parfois insuffisant pour déterminer seul la détonation des explosifs peu sensibles.

200 — *Précautions à prendre dans l'allumage des coups de mine.* — Quel que soit le système adopté pour la mise du feu, cette opération ne doit se faire qu'en prenant les mesures nécessaires pour éviter qu'aucun ouvrier puisse être atteint par les projections. Les mineurs poussent le cri de *gare la mine*, afin d'éloigner tout le personnel du théâtre de l'explosion. Ils se répandent dans les diverses voies conduisant au chantier, à la distance nécessaire pour leur sûreté personnelle, et ils arrêtent au passage les hommes qui surviendraient sans avoir entendu les signaux. Celui qui doit mettre le feu reste seul, et bat en retraite rapidement après l'allumage. S'il s'agit d'un puits en fonçage, ce mineur s'assure que son échelle est disposée pour qu'il puisse monter

Digitized by Google

rapidement à la *caponnière* la plus prochaine, sorte de niche pratiquée dans la roche. Plus ordinairement, il avertit par un signal convenu le mécanicien et attend sa réponse, afin d'être assuré que celui-ci se tient prêt à l'enlever dans la benne à une grande hauteur.

Il est bon, pour le mineur qui travaille nu, de revêtir ses habits avant l'allumage, de manière à diminuer la gravité des brûlures si le coup *fait canon*. A cet égard les vêtements de laine sont les plus sûrs; la toile risque de s'enflammer, en aggravant les blessures.

Pour le tirage à ciel ouvert, il faut avoir soin de recouvrir la surface avec des fascines liées entre elles, en vue d'empêcher autant que possible les projections.

Dans les houillères grisouteuses (1), on ne doit pas laisser chaque piqueur allumer lui-même ses coups de mine. Cette besogne est confiée à des *boutefeux* ou *firemen* spéciaux, non intéressés dans le travail de chaque chantier, afin d'éviter qu'ils ne soient sollicités à quelque témérité par l'appât du gain ou pour éviter des retards. Parfois même le tirage ne se fait qu'après que tout le poste est sorti, à l'exception des seuls boutefeux.

Ceux-ci, après avoir chargé la mine eux-mêmes ou l'avoir fait charger en leur présence, doivent avant d'allumer vérifier l'état de l'atmosphère. Ils ne mettront le feu que s'ils ont constaté, par une visite minutieuse, l'absence du grisou dans le rayon où sa présence pourrait être dangereuse. Cette vérification doit être répétée avant chaque coup de mine, ou avant chaque volée de plusieurs coups simultanés; car l'atmosphère, dont la pureté aurait été constatée avant la première inflammation, peut être devenue, par l'effet même de l'explosion dont la pression fait exsuder le gaz, grisouteuse et dangereuse pour la suivante. La loi anglaise de 1887 prescrit d'étendre ces recherches jusqu'à 25 mètres.

Je mentionnerai encore une proposition (2) de M. Bustin, bien qu'elle semble d'une réalisation malaisée, et même dangereuse

(1) La nature même des explosifs à employer dans ces exploitations a une importance capitale au point de vue de la sécurité. C'est une question que nous étudierons ultérieurement (N° 218).

(2) *CRM*, 1881, p. 177. — *Rev. univ. d. m.*, 1881. — *La houille*, 5 juin 1881.

Digitized by Google

jusqu'à un certain point. Elle consistait à rendre le grisou inoffensif dans le tirage des mines par l'emploi de l'acide carbonique qui à la dose d'un septième, suivant cet ingénieur, paralyserait son action. A cet effet, entre le moment de l'allumage et celui de l'explosion, on répand dans l'atmosphère l'acide carbonique qui a été comprimé dans un réservoir portatif, en ouvrant la tubulure dès qu'on a mis le feu à l'étoupille.

Enfin pour les exploitations poussiéreuses, des précautions spéciales doivent être prises attentivement. On les trouvera plus loin (Chap. XLVII, § 3).

201 — *Tir par volées.* — Le coup de mine, une fois chargé, peut être tiré de suite. Dans d'autres cas, on attend certaines heures déterminées pour la coordination des services, ou encore la réunion de plusieurs pétards, en vue d'associer leurs efforts et d'en augmenter les résultats. Ce dernier mode est usité notamment pour les *coups d'empiétage* dans le percement des galeries.

On peut en effet concevoir, qu'à la sphère décidément destructive d'un coup de mine, variable avec l'importance de sa charge et la cohésion de la roche, s'ajoute une zone d'ébranlement insuffisant pour amener à lui seul la disjonction. Cet espace rentrera dans son repos initial après certaines oscillations. Mais si l'on superpose sur un même point, et pour le même instant, plusieurs zones de cette nature, l'importance de l'ébranlement ainsi totalisé pourra s'élever jusqu'au degré suffisant pour la rupture; lequel n'eût pas été atteint si les secousses s'étaient opérées d'une manière successive, chacune après l'extinction de la précédente [1].

On a objecté, à la vérité, que la vibration produite par l'un des fourneaux peut tout aussi bien venir annuler l'oscillation voisine, les coups *se calant* mutuellement [2]. Mais l'on devra plutôt compter à cet égard sur une influence favorable à la destruction. En effet, l'interférence de deux vibrations exige à la fois la coïncidence absolue des directions dans deux sens opposés, avec l'égalité des

[1] Callon, *Cours d'exploitation des mines*, I, 174.

[2] Expériences de M. Baure (Alfred Evrard. *Traité pratique de l'exploitation des mines*, I, 80).

Digitized by Google

amplitudes, tandis que des résultantes quelconques et enchevêtrées pourront naître de directions et d'intensités diverses.

Ce qui ôtait autrefois à cette discussion beaucoup de son importance était la très grande difficulté d'arriver à la simultanéité des explosions par salves. Les calculs faits à cet égard d'après les longueurs de mèche, les vitesses de combustion, les temps de mise en feu, ne pouvaient réaliser qu'une grossière approximation; tandis que la durée des phénomènes qu'il s'agit de faire coïncider est d'une extrême brièveté. Mais l'introduction du tir électrique et des cordeaux détonants, en assurant l'identité rigoureuse des époques d'inflammation, a rendu au mode de sautage par volées de coups de mine toute sa valeur [1].

202 — *Raté, long-feu, débourrage.* — On ne doit revenir au chantier qu'après avoir entendu le coup. Si l'on en a fait partir un certain nombre, on compte soigneusement les détonations, et il est très important pour cela de se mettre en garde contre l'effet des échos. Dans le tir par volées simultanées, l'on n'a aucun moyen d'acquérir la certitude que tous les coups ont fait explosion.

Un certain nombre peuvent s'éteindre complètement; ils forment les *ratés*. D'autres peuvent être plus ou moins retardés par des causes quelconques, et constituent les *longs-feux*, danger redoutable, car si l'on croit à un raté après un certain temps de silence, on peut retourner au front de taille et recevoir le coup. Il y a d'ail-

[1] On ne saurait donner une idée plus grandiose de la puissance de ce mode d'association des coups de mine, qu'en esquissant les données du sautage sous-marin de Hallet's Point, effectué à New-York le 24 septembre 1872, sous la direction du général Newton. On perça un réseau de galeries, concentriques ou rayonnantes, formant un total de 6500 mètres de développement et un vide de 37827 mètres cubes. Les massifs restant représentaient 48000 mètres cubes. On y pratiqua 6455 trous de mine de 0m,075, et 578 de 0m,050, mesurant ensemble 17228 mètres de longueur. Le total de la charge, égal à 49915 kilogrammes de dynamite, de rend-rock et de vulcan-powder, représente environ 468 grammes par mètre cube de roche à dépiler. On employa pour le tirage simultané 23 batteries électriques, comprenant 960 éléments au bichromate. Les frais s'élevèrent à 5560000 francs, et l'on n'eut aucun accident à déplorer. (Report by lieutenant-colonel Newton upon the destruction of the reef at Hallet's Point, Chambre des représentants, 44e congrès, n° 244. — *The Engineer*, 1876, 217 et 279. — *La Dynamite, ses caractères et ses effets*, publié par la Société Nobel, 1878, 140. — Lagasse, *Revue des questions scientifiques de la Société de Bruxelles*, 1877, 274. — *Association scientifique de France*, 22 novembre 1885, p. 125. — *Génie civil*, VII, 283; VIII, 42).

Digitized by Google

leurs incertitude sur l'emplacement de ceux des pétards dont on n'a pas entendu la détonation. Il faut donc, pour ces motifs, imposer des règles de prudence absolue. On ne doit revenir sur une mine qu'après un délai d'une heure au minimum, lorsque l'on n'a pas acquis la certitude qu'elle a sauté. Certains règlements ne permettent même le retour au chantier que le lendemain. Ce n'est qu'avec l'emploi de l'électricité ou des cordeaux détonants que l'on peut être certain de ne pas avoir à redouter un long-feu.

Dans l'ancien système de tir, on enlevait souvent les fétus ou canettes des ratés, en les remplaçant par d'autres pour essayer une nouvelle inflammation. On employait même une pratique excessivement dangereuse, consistant à repasser l'épinglette dans son logement, quand on le suspectait de s'être encombré. On risquait ainsi de pousser jusqu'à la poudre des matières embrasées, au sein desquelles le feu couvait avec lenteur.

Les mineurs ont une malheureuse tendance à procéder au débourrage des coups ratés pour en chercher le défaut, les remettre en état et les faire partir. Cet usage est très dangereux, surtout lorsque la charge contient une amorce. Il faut tout au moins noyer les coups de mine, dans les cas très rares où il serait jugé nécessaire de débourrer. L'opération sera effectuée en présence d'un maître mineur, et il conviendra de l'arrêter à une dizaine de centimètres de l'ancienne charge.

Ordinairement les règlements interdisent tout débourrage, ou ne l'autorisent que pour des cas exceptionnels. Comme il serait d'ailleurs dangereux de laisser subsister le chargement, on pratique un second fourneau à proximité du coup raté, afin que son explosion, en détruisant la paroi intermédiaire, fasse sauter le chargement. Mais ce nouveau trou doit être dirigé de telle sorte qu'il ne puisse rencontrer en aucun cas les cartouches qui se trouvent dans le premier. On s'arrangera pour qu'il ne s'en approche pas à moins de 20 centimètres. Cette distance devrait même être augmentée avec les explosifs à base de nitroglycérine, si l'on avait lieu de craindre que celle-ci ne se fût répandue dans la roche à travers les fissures. Il sera en outre prudent avec ces explosifs de placer, s'il est possible, le nouveau trou au-dessus du raté pour être moins

Digitized by Google

exposé à rencontrer dans le forage, en raison de la pesanteur, un suintement de nitroglycérine. L'enlèvement des déblais du second coup se fera avec les précautions propres à éviter la détonation d'un morceau de cartouche qui aurait pu s'y trouver projeté.

203 — Il peut arriver qu'un coup manque son effet utile sans constituer ni un long-feu, ni un raté; soit en faisant canon et chassant sa bourre, par suite d'un défaut de serrage ou d'une disproportion entre la charge et la masse à disjoindre; soit en produisant une détonation très réduite, parce que les gaz auront filtré à travers les fissures de la roche. Dans cette dernière circonstance, il est inutile d'essayer d'utiliser le même trou pour une nouvelle charge, car la cause n'étant pas modifiée, le même effet ne manquerait pas de se reproduire.

S'il s'agit d'un coup ayant fait canon, il est dangereux de s'en servir une seconde fois sans des précautions spéciales, à cause des fragments d'explosifs qui ont pu y rester. On interdira en tous cas d'une manière absolue de les approfondir, de chercher à en retirer les portions de cartouches non brûlées, ou de les curer. Les trous ayant contenu des explosifs détonants ne devront être rechargés que par des ouvriers expérimentés, sous une surveillance spéciale, et après avoir laissé écouler pour le refroidissement des parois un intervalle d'une demi-heure au moins. Une bourre d'argile grasse sera d'abord introduite au fond du trou, et la nouvelle cartouche sera enfoncée très doucement de manière à éviter tout choc.

En général, au lieu de recharger un trou qui a fait canon, l'on fore un nouveau trou à côté de l'ancien, en se maintenant à la même distance que s'il s'agissait d'un coup raté.

Après les explosions, il subsiste fréquemment des fonds de trou, ou *culots*, qui se sont conservés intacts. Si l'on veut les utiliser ou bien pratiquer d'autres forages dans leur voisinage, on prendra les mêmes précautions que pour un coup ayant fait canon. Toutefois si le culot est peu profond, et a par exemple moins de 10 centimètres, on pourra réduire jusqu'à 5 centimètres environ la distance du nouveau trou, en veillant toujours avec soin à ce que ce dernier ne risque pas de rencontrer l'emplacement de l'ancienne charge.

Digitized by Google

§ 6

COMPOSITION DES EXPLOSIFS

204 — *Propriétés des explosifs.* — On qualifie du nom d'*explosifs* des substances susceptibles de se transformer totalement ou partiellement en gaz dans un temps très court, sous l'influence d'une cause thermique ou mécanique, en rendant libre une quantité considérable de chaleur. Leur emploi pour le sautage des roches a constitué un progrès absolument décisif dans les travaux souterrains. Il a permis d'exploiter économiquement des mines que l'on n'aurait pu attaquer autrement, ou que le renchérissement progressif de la main-d'œuvre eût obligé de fermer.

En effet ces agents, dont on peut augmenter à volonté la puissance sur un point donné, permettent de détacher d'un seul coup des blocs considérables, dont la dureté excessive eût réduit le mineur à l'emploi de la pointerolle. Celui-ci aurait donc dû fournir, indépendamment du travail moléculaire correspondant à la disjonction des surfaces de séparation, celui du dépècement complet de la masse en fragments minimes tels que ceux que débite cet instrument. De là une énorme disproportion, qui est tout à l'avantage de l'emploi des explosifs.

205 — Cependant si, en nous plaçant à un point de vue tout à fait différent, nous examinons la manière dont on dépense la capacité de travail que recèle en lui-même l'explosif mis en jeu, nous arriverons facilement à constater sous ce rapport une utilisation détestable. Il ne s'agit plus ici en effet de l'artillerie, dont le but est de porter à une grande distance un projectile avec une force vive considérable, en la lui communiquant par une dépense de travail effectuée sur un parcours d'une certaine importance, d'après la longueur de la pièce. Pour les coups de mine, au contraire, on ne demande aux moyens mis en œuvre que de faire franchir la sphère d'action des forces de cohésion; et cette étendue est pour ainsi dire inappréciable. Tout ce que l'on produira en sus

Digitized by Google

comme déplacement effectué et vitesse communiquée est non seulement inutile, mais dangereux.

Or le moyen d'action que l'on met en jeu, pour développer le travail, est la détente d'un gaz. Le nombre de kilogrammètres qui correspond à un changement de volume défini n'est pas à la vérité déterminé *a priori*; il dépend, d'après les théories de la thermodynamique, des circonstances de cette dilatation. Mais, quelles que soient ces conditions et par suite la loi de la production du travail, il est certain que, si les limites de la variation du volume viennent à se resserrer indéfiniment, la production de puissance dynamique diminue elle-même au delà de toutes limites. Par conséquent la portion utilisée, qui correspond ici à un aussi faible changement de volume, ne sera qu'une très petite fraction de l'effet produit dans l'énorme expansion qui suivra ce premier pas à franchir. En d'autres termes, le rendement utile de la dépense de travail effectuée sera des moins satisfaisants. Tout le reste de la puissance mise en jeu passera en effets de projection, de déformations inutiles, de vibrations perdues dans le sol ou dans l'atmosphère sous la forme de son, de chaleur sensible, etc.

206 — Quant à l'action utile réalisée, il y a lieu de distinguer avec soin deux points de vue essentiels. D'abord son intensité statique, d'après laquelle chaque mètre carré de surface de contact finira par supporter un effort donné, quelles que soient les conditions qui auront présidé au développement progressif de cette pression. En second lieu la rapidité de cette production, qui permettra de concentrer l'effort de déchirement sur le foyer même de production, avant que les forces mises en action aient eu le temps de se transmettre au loin, et d'établir la roche en tension de manière à faire intervenir en antagonisme une plus grande quantité de ressorts moléculaires. Suivant que ces deux qualités se trouvent plus ou moins développées dans un explosif de mine, il est dit *fort* ou *faible*, *brisant* ou *lent*.

La force d'une poudre dépend de deux facteurs. D'une part le volume (réduit aux conditions normales de la température de la glace fondante et de la pression de $0^m,76$ de mercure, pour rendre

Digitized by Google

les chiffres comparables) du gaz fourni par 1 kilogramme de l'explosif; en second lieu, la température effective qui prend naissance dans la réaction chimique mise en jeu, et qui tend à déterminer une dilatation d'autant plus marquée de ce volume normal. Il va sans dire que si d'autres considérations n'avaient pas à intervenir de leur côté dans le choix des explosifs, on préférerait toujours ceux qui ont le plus de force.

207 — Quant à la rapidité de la transformation en gaz d'une substance explosive, elle varie entre des limites très étendues suivant sa nature. Cette transformation peut en effet s'opérer de deux manières absolument distinctes, ainsi que l'ont montré les mémorables travaux de MM. Berthelot, Sarrau et Vieille[1]. Dans les explosifs lents, tels que la poudre noire, la propagation de la combustion se fait uniquement par conductibilité. Si un cylindre de poudre noire est allumé à l'une de ses extrémités, l'inflammation se communique aux parties voisines, puis de proche en proche avec une vitesse qui ne dépasse pas à l'air libre quelques mètres par seconde. Ce mode de combustion est appelé *déflagration*. Si au contraire on détermine par un choc suffisamment violent l'inflammation d'un cylindre de dynamite, la production instantanée des gaz dégagés exerce sur la partie voisine une énorme compression qui en provoque à son tour la décomposition; et la réaction se propage ainsi successivement dans tout le cylindre avec une vitesse qui ne dépend plus de la conductibilité de la substance, mais de son élasticité. La vitesse de propagation est notablement supérieure à celle des ondes sonores, et dépasse 5000 mètres par seconde. On dit alors que la substance *détone*, et cette communication spéciale de la combustion prend le nom d'*onde explosive*[2].

Ce sont les substances uniquement susceptibles de déflagrer qu'on appelle en général *poudres lentes*. Celles qui peuvent être parcourues par l'onde explosive sont nommées *explosifs brisants*. Quel-

[1] Berthelot, *Sur la force des matières explosives d'après la thermochimie*, Paris, Gauthier-Villars, 1883. — Vieille, *Assoc. franç. p. l'avanc. des sciences*, Congrès de Limoges, 1890, 53. — Sarrau, *Introduction à la théorie des explosifs*, Paris, Gauthier-Villars, 1893.

[2] Le Chatelier, *Le grisou* (Aide-mémoire Léauté), 139

Digitized by Google

ques-unes de celles-ci, comme le fulminate de mercure, ne présentent jamais que ce seul mode de combustion; mais certaines autres peuvent détoner ou déflagrer selon le procédé d'inflammation choisi. Ainsi la dynamite détone par le choc, et elle déflagre au contact d'une flamme. L'un des modes passe d'ailleurs parfois spontanément l'autre. C'est pour assurer la détonation complète de ces substances que l'on doit provoquer leur combustion, non par la flamme de la poudre, par exemple à l'aide d'une mèche de sûreté enfoncée dans la cartouche, mais par le choc violent que produit la détonation d'une capsule de fulminate.

L'usage des explosifs brisants se répand de plus en plus dans les travaux d'exploitation, au détriment de la poudre noire. En dehors de leur puissance parfois considérable, ils présentent l'avantage de n'exiger qu'un bourrage plus sommaire, et même de fonctionner sans aucun bourrage. En effet, la rapidité de leur combustion est telle que, pendant sa durée, aucune dilatation appréciable des gaz n'a le temps de s'effectuer. Une cartouche de dynamite de 100 grammes que l'on fait détoner se trouve, au bout de quatre millièmes de seconde environ, remplacée par une masse gazeuse qui se trouve à une température voisine de 3000 degrés, et dont le volume, à la pression atmosphérique et à la température zéro, serait au moins 800 fois plus grand. La pression produite d'après cela sur tout l'espace ambiant est de plusieurs dizaines de milliers d'atmosphères. On comprend ainsi quels effets peut entraîner l'explosion d'une telle cartouche simplement posée contre un obstacle[1]. On s'explique également pourquoi les explosifs brisants broient le massif tout autour de la charge, en produisant beaucoup de déchirements du côté de la surface dégagée.

Quelles que soient les qualités de ces agents, il est cependant des cas où l'on devra leur préférer des poudres lentes, dont l'action est moins brutale. Le choix entre ces diverses substances dépend en effet de l'appropriation de leurs propriétés à celles de la roche. Il est clair qu'une masse friable, comme le sont l'ardoise et la plupart des houilles, serait broyée sans utilité, et parfois même

[1] Mallard, *Bull. min.*, 3e, III, 636.

Digitized by Google

d'une manière fâcheuse, par une poudre détonante; tandis qu'une roche fendillée laisserait perdre, avec le gaz, toute la puissance d'une poudre lente.

208 — Parmi les propriétés qui doivent guider l'ingénieur dans le choix d'un explosif brisant, l'*aptitude à la détonation* est une de celles qui prennent une grande importance dans la pratique. Il faut en effet qu'elle soit assez modérée pour nécessiter peu de précautions dans le chargement, et qu'elle reste cependant assez notable pour que la combustion puisse être provoquée par des moyens simples et peu dispendieux. Cette aptitude varie suivant la nature de l'explosif, et aussi d'après les conditions de son emploi ([1]). Pour une même substance, la détonation est plus facile à l'état pulvérulent qu'après compression; mais dans le premier cas on diminue la densité du chargement, et par suite la puissance de la charge (N° 172). Comme système mixte, on a proposé de remplir d'explosif pulvérulent le vide central de cartouches comprimées, percées d'un trou suivant leur axe.

Ces substances détonent aussi plus facilement dans un vase résistant, hermétiquement clos, qu'à l'air libre; mais l'expérience montre qu'à ce point de vue, si l'on a égard à la perméabilité des terrains, les conditions du phénomène se rapprochent beaucoup dans un trou de mine de ce qu'elles présentent à l'air libre.

209 — Beaucoup d'autres qualités sont réclamées des explosifs destinés aux travaux miniers. Ils doivent ne dégager que des fumées peu abondantes et inoffensives, présenter une sécurité relative dans leur fabrication, ainsi qu'une stabilité suffisante pour pouvoir être conservés longtemps et pour supporter les transports et les variations de climat, enfin une certaine résistance à l'action de l'eau de manière à se conserver dans l'humidité et à permettre de tirer sous l'eau. Nous verrons aussi plus loin (N° 218) quelles qualités spéciales on demande aux explosifs employés dans les milieux grisouteux.

Il est inutile d'ajouter que les diverses données du problème se

([1]) Le Chatelier, *Le grisou* (Aide-mémoire Léauté), 158.

Digitized by Google

trouveront souvent en opposition les unes avec les autres, et que d'ailleurs toutes ne sont pas à la fois nécessaires au même degré. La poursuite de ces divers *desiderata* a conduit, dans l'étude des explosifs, à un grand nombre de variétés [1] dont nous allons dire quelques mots.

210 — *Poudres nitratées.* — Les mélanges dont la composition est basée sur l'emploi des azotates, mais qui ne contiennent pas

[1] Harlé, Application de la nitroglycérine au tirage des mines, *Annales*, 6e, XIX. — Nordenström et Cronquist, *On Nitroglycerinhaltiga sprängömmen*, Stockholm, 1880. — Brüll, Études sur la nitroglycérine et la dynamite, *Mémoires des ingénieurs civils*. — Hess, Volatilité de la nitroglycérine dans la dynamite, *Journal d'artillerie* de Vienne, 1876, 117. — Champion, *La dynamite et la nitroglycérine*, Paris, chez Baudry.— Brüll, Dynamite et nitroglycérine, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, IV, 493, 562, 659. — *La dynamite, ses caractères et ses effets*, Société Nobel, Paris, 1878. — *Mode d'emploi de la dynamite*, Société Nobel, Paris, 1876. — Roux, Conférence sur la dynamite, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VII, 628 et *Bulletin de l'Association scientifique de France*, nos 633, 635. — Brüll, *Notice* sur la dynamite, Montpellier, chez Boehn. — Barbe et Brüll, Expériences sur la dynamite, *Annales*, 6e, XX, 662. — Barbe, *Études pratiques sur la dynamite*, Paris, chez Lemoine. — Bolley, Kundt, Pestalozzi, Observations sur la dynamite, *Revue polytechnique* de Zurich, XIV. — Amiot, Dangers de la dynamite, *Annales*, 7e, III, 427. — Roux, Accidents de la dynamite, *Annales*, 7e, XVI, 229. — Rapport de la commission des dépôts de dynamite au Congrès minéral du Gard, Alais, 1882. — Fritsch, Les dynamites, *Mémorial de l'officier du génie*, 1872, 1874 ; *Bull. min.*, 2e, IV, 47. — Abel, *Recherches sur les agents explosifs*, Actualités scientifiques, Gauthier-Villars, 1871. — Abel, *Lecture sur les agents explosifs*, Minutes of proceedings of the institute of civil Engineers, XXXIV, 327. — Abel, *Les agents explosifs appliqués dans l'industrie*, traduit par Richard, Gauthier-Villars, 1881. — Nobel, Roux, Sarrau, *Les explosifs modernes*, Paris, 1876, chez Lahure. — Henry, Sur les substances explosibles employées dans les mines, *Annales*, 6e, XIX, 21. — Delgobe, Emploi des explosifs textiles en Norwège, *Génie civil*, II, n° 5. — Combes, Emploi du pyroxyle pour le sautage des roches, *Bull. Soc. d'enc.*, 1re, XLV, 621 et XLVII, 278. — Expériences sur le lithofracteur, *Annales*, 6e, XIX, 429, bulletin. — Héracline, *CRM*, 1876, janvier, 9; mai, 30. — Eugène Turpin, *Notice sur la pancla stite*. — Habets, Creusement des puits et galeries, *Rev. univ. d. m.*, XXXVI, 29. — Upmann et Von Meyer, *Traité de la poudre*, traduit par Desortiaux. — Böckmann, *Les matières explosives*; histoire, propriétés, essai et emploi pratique, Vienne, in-8°. — Noble, On heat action of explosives, *Instit. of the civil Engineers*, 1883-84. — Trauzl, *La dynamite, ses propriétés et son emploi*, Berlin. — Daniel, *Les explosifs industriels*, Paris, 1893. — Chalon, *Les explosifs modernes*, Paris, Bernard, 1886. — Guchez et Lange, *Des caractères et de l'emploi des explosifs brisants*, traduit de l'allemand, Bruxelles, Ramlot, 1889. — Moisson. *Pyrodynamique*, Paris, Baudoin, 1887. — Cundill, *Dictionnaire des explosifs*, traduction française de Desortiaux, Paris, Gauthier-Villars, 1893. — *Bull. min.*, 2e, XV, 121. — *CRM*, 1883, 241 ; 1885, 74 ; 1886, 28. — *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, II, 98. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XXVII, 162. — *Revue des questions scientifiques*, Bruxelles, 1887, 353. — *Mém. des ingén. civils*, 1885, 580 et 702. — Salvati, *Vocabulaire des poudres et explosifs*, traduction par Brion. (*Revue maritime et coloniale*, 1895.) — *Annales industrielles*, 17 février 1895.

Digitized by Google

d'autre substance explosive par elle-même, sont le type des poudres lentes, tandis que les autres explosifs dont nous parlerons ci-après sont brisants.

L'azotate le plus fréquemment employé pour la fabrication de ces poudres est le salpêtre, ou nitrate de potasse. La poudre de mine normale, ou *poudre noire*, présente en général la composition suivante :

Salpêtre	65
Soufre	20
Charbon	15
	100

Elle diffère notablement de la poudre de guerre et de la poudre de chasse. Sa densité sous volume *apparent* est 0,941. La pression des gaz développés par la déflagration d'un kilogramme dans un litre aurait pour valeur, d'après MM. Noble et Abel, 6400 atmosphères. On a du reste indiqué à cet égard les chiffres les plus discordants. Un kilogramme de poudre de mine paraît développer dans le sautage à peu près 270 000 kilogrammètres [1], tandis que le travail disponible, d'après les calories développées, serait de 325 000 kilogrammètres [2]. Le prix du kilogramme pris aux entrepôts de l'État est de 1 fr, 85.

La poudre noire doit avoir un grain égal, dur, sans poussière, ne tachant pas la peau. L'humidité condensée par hygroscopicité lui fait perdre sa force, qui renaît par la dessiccation. Mais la poudre mouillée ne peut plus servir. Sa conservation se fait dans des barils ou des sacs de cuir, en choisissant des lieux très secs. Les poudrières doivent être éloignées de toute habitation. Il est bon, quand leurs diverses faces présentent des degrés de danger différents d'après les circonstances du voisinage, de construire très solidement les murs importants, et avec une légèreté intentionnelle le côté le moins périlleux, afin qu'en cas d'explosion ce

(1) Biver, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCI, 830.

(2) Berthelot, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXI, 619, 667, 709; LXXXII, 469. — Roux et Sarrau, *Ibidem*, LXXIX 757. — Noble et Abel, *Ibidem*, LXXXII, 489.

Digitized by Google

dernier soit nettement emporté par la violence du coup, avant que la pression devienne capable de détruire les autres.

De nombreuses modifications ont été apportées à la composition type que nous venons de formuler.

On a essayé notamment de diminuer la proportion de soufre, qui ne joue pas dans l'ensemble un rôle aussi fondamental que les deux autres éléments.

On a également cherché, en raison du prix élevé et de la rareté du salpêtre, à lui substituer d'autres azotates, tels que ceux de soude, d'ammoniaque, de baryte, de chaux, de magnésie.

Le charbon de bourdaine ou de fusain, qui est ordinairement employé pour la fabrication de la poudre, a lui-même quelquefois cédé la place à des succédanés tels que la sciure de bois, le tan, la râpure de noix de galle, etc.

De toutes ces tentatives, aucune ne paraît avoir eu un résultat pratique de quelque intérêt, si l'on excepte la substitution de la soude à la potasse. Le principal obstacle que rencontre d'ailleurs cette modification provient de l'hygroscopicité des sels sodiques.

211 — *Poudres chloratées et picratées.* — Ces explosifs ne peuvent figurer dans les mines, parce qu'ils sont d'une instabilité extrême. La combustion de l'acide picrique (phénol trinitré) et des picrates dégage en outre des gaz toxiques.

Le chlorate de potasse a été employé dans des cas spéciaux, soit pour la confection des amorces, en le mélangeant au fulminate, soit dans les allumeurs du type Bickford (N° 188), en utilisant sa propriété d'enflammer spontanément des substances combustibles sous l'influence de quelques gouttes d'acide sulfurique.

212 — *Nitrocelluloses.* — Dans la plupart des explosifs brisants, l'élément actif est, comme dans les picrates, un composé organique nitré; c'est à cette catégorie qu'appartiennent les nitrocelluloses, qui sont obtenues en traitant la cellulose par un mélange d'acide azotique et d'acide sulfurique; elles conservent l'aspect de la cellulose. On peut dès lors, en vue de leur application ulté-

Digitized by Google

rieure, commencer par tresser, tisser, comprimer le coton avant de le soumettre à l'action nitrifiante[1].

Le *fulmicoton*, *coton-poudre*, ou *pyroxyle*, correspond au maximum de nitrification. Il a été découvert en 1838 par Pelouze. et employé en 1846 comme explosif par Schœnbein. C'est en général un mélange de coton endécanitrique $C^{24}H^{29}Az^{11}O^{42}$ et de coton décanitrique $C^{24}H^{30}Az^{10}O^{40}$.

Le fulmicoton est très instable lorsqu'il contient des traces d'acide. Il se décompose en outre lentement sous l'action de la lumière. Il s'enflamme lorsqu'on le porte à la température de 172 degrés. Il détone facilement à l'aide d'une capsule de fulminate ou par percussion. Pour le rendre moins instable et moins sensible au choc, on a proposé de l'additionner d'une certaine quantité d'eau; mais si la proportion atteint 17 pour 100, l'inflammation ne se produit plus.

Le *coton-collodion*, ou *pyroxyline*, est une nitrocellulose dont le degré de nitrification est moins élevé que celui du fulmicoton. Sa composition répond à la formule du coton ennéanitrique $C^{24}H^{31}Az^{9}O^{58}$ et du coton octonitrique $C^{24}H^{32}Az^{8}O^{56}$. Il se distingue du précédent en ce qu'il est soluble dans l'éther alcoolisé. Ses autres propriétés sont analogues à celles du coton-poudre.

Les nitrocelluloses ne sont guère employées seules pour les travaux de mines. En dehors de leur instabilité, elles présentent le grave inconvénient de dégager par la combustion de l'oxyde de carbone. Mais elles ont souvent été utilisées à l'état de mélanges avec d'autres substances, telles que des azotates, capables de fournir l'oxygène nécessaire à la combustion de ce gaz.

213 — *Nitroglycérine et ses dérivés.* — La nitroglycérine[2] est le produit nitré qui a été jusqu'à présent le plus souvent employé dans la composition des explosifs brisants. Elle a comme

(1) Von Forster, Experiments with compressed gun cotton, *Van Norbrand's engineering magazine*, août 1884, p. 113; décembre 1886, p. 473. — Experiments with detonating gun cotton, *Scientific American*, 8 octobre 1887.

(2) Manuel Elssler, *The modern high explosives. Nitroglycerine and dynamite*, New-York. — Frederich W. Clark, Some Tests of the relative strength of nitroglycerine and other explosives. *Transactions of the american mining Engineers*, juin 1890.

Digitized by Google

formule $C^6H^{10}Az^6O^{18}$, et s'obtient en faisant réagir sur la glycérine un mélange d'acide azotique et d'acide sulfurique. Elle a été découverte en 1846 par Sobrero, et préconisée en 1864 pour le sautage des mines par Nobel.

Elle est incolore à l'état de pureté ; mais elle devient jaunâtre, par suite d'un commencement de décomposition, lorsqu'elle provient de l'exsudation de la dynamite. Sa densité est de 1,6. Elle est très peu soluble dans l'eau et inaltérable par ce liquide, ce qui a permis de tirer sous l'eau avec cet explosif.

Cet agent est très vénéneux ; il occasionne des maux de tête pendant sa fabrication, ou simplement par son contact avec l'épiderme.

A 8 degrés, la nitroglycérine se congèle en cristaux, et devient dans cet état extrêmement dangereuse. On n'y doit toucher sous aucun prétexte avant de l'avoir ramenée à l'état liquide en élevant la température générale, mais sans l'exposer directement à l'action du feu. Chauffée au bain-marie, elle se volatilise à partir de 80 degrés. L'explosion se produit quand on porte brusquement sa température à 200 ou 220 degrés.

Elle se conserve bien, lorsqu'elle est pure ; mais des traces d'humidité ou d'acide libre suffisent pour en provoquer la décomposition, laquelle, une fois commencée, peut se transformer en explosion. Cette propriété rend l'emploi de la nitroglycérine extrêmement périlleux. Allumée à l'air, elle brûle avec une flamme jaune en dégageant des vapeurs nitreuses ; si la masse de l'explosif est notable, elle finit par détoner.

Cette substance se décompose par la lumière solaire. Elle est particulièrement sensible au choc, surtout sous une faible épaisseur. Son transport présente par suite de grands dangers, car une fuite peut se produire dans les vases qui la contiennent [1].

[1] En avril 1886, le *Pacific* a sauté avec deux barils de nitroglycérine, en tuant 20 personnes et en ébranlant tout un quartier de San-Francisco. — Dans le même mois, un steamer européen était pulvérisé à Aspinval avec 60 victimes.

En décembre 1875, l'explosion d'une caisse de nitroglycérine à Brême a tué 80 personnes, et en a blessé environ 200. — Explosion de nitroglycérine en Amérique. (*La Nature*, 10 août 1895, p. 161.)

Le 3 novembre 1893, dans le port de Santander, le navire à vapeur *Cabo Machichaco*, porteur de 40 tonnes de dynamite, a fait explosion en détruisant tout un quai, renversant un train de chemin de fer, projetant une ancre à plusieurs kilomètres, et tenant toute

Digitized by Google

En présence de propriétés aussi redoutables, la plupart des gouvernements sont intervenus pour interdire le transport de la nitroglycérine, et n'autoriser son emploi que dans des cas exceptionnels environnés de précautions spéciales.

214 — Cette merveilleuse puissance serait donc restée sans emploi si Nobel n'avait réussi à discipliner cet agent formidable, en le mélangeant intimement à une substance siliceuse, et à en faire la base d'un produit beaucoup plus pratique, auquel il a donné le nom de *dynamite*.

Depuis lors, on a désigné ainsi un grand nombre d'explosifs constitués par un mélange de nitroglycérine et de substances absorbantes, destinées à isoler le liquide dans une foule de petits récipients élémentaires, en interrompant sa continuité et par suite la transmission des ébranlements moléculaires qui constitue le mécanisme de sa détonation. On a employé pour remplir cet office deux sortes de matières; en premier lieu des substances sans aucune action propre (absorbants inertes), comme dans la dynamite proprement dite de Nobel; ou bien au contraire des matières explosives par elles-mêmes (absorbants actifs), qui viennent joindre leur force d'expansion à celle de la nitroglycérine.

215 — La plus employée des *dynamites à base inerte* est la dynamite n° 1, qui comprend 75 parties de nitroglycérine et 25 d'un résidu siliceux de diatomacées, dit *kieselguhr*, dont le gisement principal se trouve à Oberlohe (Hanovre); les dynamites n°s 2 et 3 de la fabrique de Vonges (France) contiennent 50 et 30 pour 100 de nitroglycérine.

On a aussi utilisé, au lieu de kieselguhr, la randanite d'Auvergne, une terre des environs de Vierzon, l'ocre, la craie, la silice amorphe, etc.

la population sous la terreur en raison des caisses que l'on pouvait supposer coulées avec le navire sans avoir fait explosion.

Le 19 février 1896, huit wagons de dynamite ont santé à Johannesburg (Transwaal), creusant une excavation d'une dizaine de mille mètres cubes, lançant les rails au loin, enfouissant à 6 ou 7 mètres de profondeur des pièces métalliques, et couchant sur la place 150 morts et plusieurs centaines de blessés.

Digitized by Google

La dynamite n° 1 ordinaire [1] forme une masse pâteuse sans odeur; sa couleur est en général rougeâtre, mais varie avec celle de l'absorbant. Elle gèle à 8°, et peut en cet état produire des accidents terribles [2], soit par l'effet d'un faible choc ou d'une simple friction, soit quand on l'approche d'un corps en ignition ou très chaud. Il suffit, pour éviter leur durcissement, de porter les cartouches dans la poche du pantalon, sans amorce bien entendu. Quand on les a laissées geler, il faut absolument les dégeler au bain-marie *à température très modérée*. On peut aussi les enfouir dans du fumier.

Une cartouche de dynamite, dans son état ordinaire, fait explosion lorsqu'on la porte brusquement à 180 degrés. Exposée à l'air libre sans aucun obstacle, elle peut, si on l'enflamme en un de ses points, brûler sans danger avec une grande flamme et production de gaz nitreux, en laissant sur place le résidu siliceux; mais cette déflagration se transforme facilement en détonation, si l'expansion des gaz se trouve limitée par un obstacle résistant. Aussi ne doit-on employer que des matériaux très légers pour la construction des dynamitières (fig. 156).

La sensibilité de cet agent au choc, sans être excessive comme celle de la nitroglycérine, reste cependant assez grande. Il détone nettement par l'explosion d'une forte amorce fulminante. Cette sensibilité augmente quand on échauffe la dynamite.

La détonation d'une première cartouche peut provoquer l'explosion d'une seconde placée à une certaine distance. M. Hamilton Smith a été jusqu'à disposer dans des galeries, branchées sur l'artère principale d'un vaste fourneau de sautage, des chargements de dynamite espacés, sans bourrage. En fermant solidement la galerie centrale, il a suffi de faire partir la première

[1] La fabrication et l'emmagasinement de la dynamite sont réglementés par la loi du 8 mars 1875 et les décrets des 24 août 1875 et 28 octobre 1882. (*Annales*, partie administrative, 7e, IV, 117 et 145; 8e, I, 265.) Des circulaires ministérielles des 11 juin 1889 et 28 janvier 1890 ont fixé des règles à suivre dans l'emmagasinement et l'emploi de cet explosif. (*Annales*, partie administrative, 8e, VIII, 203 et IX, 17.)

[2] Gacon, Dangers de la dynamite gelée, *CRM*, 1888, p. 100. — Mathet, Dynamite gelée, *Ibidem*, 1885, p. 74. — Philippe Hess, Sur la dynamite gelée, *Journal du génie et de l'artillerie* d'Autriche, 1876, 1.

Digitized by Google

charge pour qu'elle déterminât l'explosion de toutes les autres [1].

La détonation complète ne donne pas de produits nuisibles; mais s'il y a seulement déflagration, par exemple avec une amorce trop faible, la décomposition peut être incomplète et il se dégage alors des vapeurs nitreuses très malsaines.

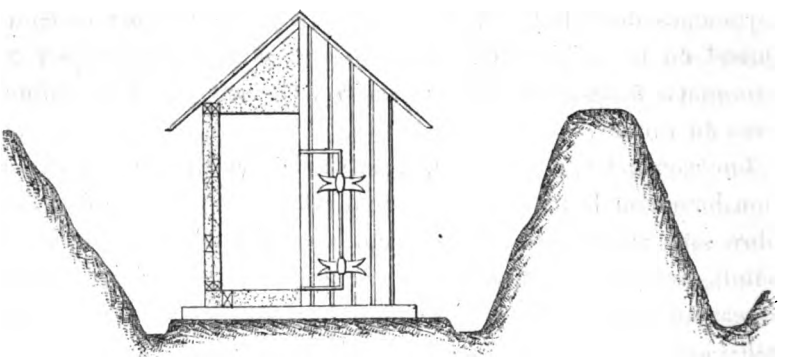


Fig. 156. — Dynamitière.

La dynamite est un produit assez stable; on doit cependant redouter des exsudations de nitroglycérine, soit lorsque la température des cartouches atteint 20 à 25°, soit quand elles sont soumises à l'action de l'eau, ou fabriquées avec un absorbant de mauvaise qualité; leur manipulation devient alors dangereuse.

216 — Les *dynamites à base active* sont aujourd'hui très nombreuses; nous ne citerons que les principales. La combustion de la nitroglycérine produisant un excès d'oxygène, on peut d'abord utiliser cet excédent pour transformer en gaz une substance combustible, par exemple du charbon de bois (dynamite-cellulose), auquel on a proposé d'ajouter du salpêtre (dynamites n°s 2, 3 et 4 de Nobel). On a aussi employé le soufre et la cellulose, mélangés à divers sels (lithofracteurs).

Mais l'explosif le plus répandu de cette catégorie est la *dynamite-gomme*, dans laquelle l'oxygène libre fourni par la combustion de

[1] Abel, *Les agents explosifs employés dans l'industrie*, 1881, Gauthier-Villars, 63.

Digitized by Google

la nitroglycérine sert à brûler l'oxyde de carbone qui résulte de celle du coton-collodion.

La dynamite-gomme contient en général 90 à 93 pour 100 de nitroglycérine, et 10 à 7 pour 100 de coton-collodion, que l'on a quelquefois remplacé par le fulmicoton [1]. On obtient ainsi une substance jaune clair, de consistance gommeuse, possèdant une puissance explosive encore plus formidable que celle de la nitroglycérine et de tous les explosifs industriels. Elle présente l'avantage de se congeler moins facilement que la dynamite, et de ne donner lieu, quand elle est bien préparée, à aucune exsudation, ni sous une forte pression ni dans l'eau.

Elle détone plus difficilement par le choc que la dynamite, et nécessite des capsules de fulminate plus fortes. On augmente, comme avec tous les explosifs, son aptitude à la détonation par un bourrage soigné. Parfois aussi l'on prend, pour y placer l'amorce, une cartouche de dynamite.

On a également obtenu des explosifs variés en mélangeant la dynamite-gomme à des substances combustibles non explosives, telles que le charbon, le salpêtre, la cellulose.

217 — *Explosifs divers.* — En dehors des substances explosives que nous venons de passer en revue, et des mélanges auxquels elles ont donné lieu, les inventeurs ont proposé depuis quelques années pour les travaux de mines de nombreux explosifs, constitués par d'autres substances nitrées [2], parmi lesquels un certain nombre sont couramment employés aujourd'hui.

[1] Quand on remplace ces matières par la cellulose ordinaire non nitrée, on évite, au prix d'un certain affaiblissement, une consistance poisseuse aux températures élevées. Mais cette pratique peut devenir dangereuse au point de vue de la gelée, car cette substance n'abaisse pas le point de congélation de la même manière que les nitrocelluloses.

[2] Tout cet ensemble a déterminé dans l'industrie une invasion de produits dont la variation, souvent plus apparente que réelle, a été revêtue par les inventeurs de noms plus ou moins fantastiques, tels que : acétine, alcaloxyde, ammoniakrut, anagon, anosite, asphaline, atlas, bellite, bronolithe, carboazotite, carbonite, cordite, crésylite, dualine, dynamagnite, dynamital, dynamite-gélatine, dynamite-grisou, dynamogène, écrasite, emmensite, extradynamite, extrastrongblasting, ferroline, forcite, fortis, fulminaline, fulmipaille, fulmison, géant, gélignite, glyoxyline, grisounite, grisoutine, haloxyline, helhoffite, hékla, héracline, hercule, jovéite, kinétite, lignose, lithofracteur, lithotrite,

Digitized by Google

Ceux-ci ont en général pour bases des dérivés nitrés d'hydrocarbures tels que la benzine et la naphtaline. Les nitrobenzines ou nitronaphtalines entrent surtout dans la composition de substances explosives préparées, comme nous le verrons plus loin, en vue du sautage des mines dans les exploitations grisouteuses (explosifs Favier, bellite, hellhoffite; sécurite).

Les *fulminates* sont considérés comme les sels d'un acide qui n'a pas encore été isolé. Le fulminate de mercure, qui sert à la fabrication des capsules, s'obtient en dissolvant ce métal dans l'acide azotique, et ajoutant ensuite de l'alcool. Cette substance ne déflagre jamais. Il suffit de la porter à 187°, ou de la toucher avec un corps en ignition, pour provoquer à coup sûr sa détonation. Elle est également très sensible au choc. On l'emploie dans les capsules, en mélange avec d'autres substances destinées à augmenter la température et surtout le volume des gaz; la pression instantanément développée par la combustion de ces capsules est considérable, et leur explosion produit sur l'explosif de la cartouche le choc violent qui est nécessaire pour obtenir sa détonation (N° 185).

218 — *Explosifs destinés aux mines grisouteuses.* — L'emploi des explosifs est une des principales causes d'accidents dans les mines grisouteuses, et de nombreuses recherches ont été faites depuis quelques années pour découvrir les moyens d'éviter l'inflammation des mélanges grisouteux par les coups de mine.

La solution radicale qui se présente la première à l'esprit est la prohibition complète de l'emploi des explosifs. On les remplace alors par les aiguilles infernales (N° 138), le bosseyage mécanique (N° 228), les leviers hydrauliques (N° 142), le tirage à la chaux (N° 146). Ces succédanés sont alors d'autant mieux indiqués que les

mataziette, mélinite, mica, miline, nitrolite, nitromannite, paléine, panclastite, pantopollite, pétralite, potentite, pyrolithe, pyronome, pyroxam, rackarock, rendrock, rhexit, roburite, romite, safetynitro, saxofragine, schnéebélite, sébastine, sécurite, seranine, selenitic, silokoar, silotwaar, terrorite, tonite, trinitroglycérine, vigorite, vingt-sur-krut, virite, vulcain; poudres blanche, noire, verte, extraforte, chimique, ammoniaque, de massif, des mineurs; poudres d'Abel, Angendre, Brain, Bruyère, Budenberg, Cavalier, Cocon, Designolle, Dupont, Ehrardt, Engels, Favier, Fontaine, Gaupillat, Heusschen, Horsley, Johnson, Judsen, Kellew, Kup, Lebel, Mowbray, Muschamp, Neumayer, Pellier, Pohl, Punschow, Sanlaville, Schort, Schultze, Trauszl, Wetteren, Ybos; poudres B, S, L³, etc.

Digitized by Google

massifs grisouteux sont souvent ceux qui se délitent le plus, ce qui tend à faciliter leur abatage. Les Charbonnages Unis de l'Ouest de Mons, en développant l'usage des aiguilles infernales, sont arrivés à supprimer presque complètement, dès 1894, l'emploi des explosifs dans leurs exploitations (1).

On a proposé également d'admettre dans le trou de mine de l'air sous une pression considérable (procédé Garforth). On a dépassé à cet égard le chiffre de 900 atmosphères aux houillères de Bower (2). Nous citerons également, dans cet ordre d'idées, la cartouche d'air comprimé Prœtt et Robert (3).

On a de même fait intervenir un dégagement gazeux dans le volume confiné du trou de mine au moyen d'une réaction chimique, soit celle du zinc et de l'acide sulfurique pour donner de l'hydrogène (4), soit l'action de l'acide chlorhydrique sur le calcaire en dégageant de l'acide carbonique. On a préconisé enfin l'usage d'un courant électrique pour produire dans une cartouche un dégagement de gaz par la décomposition de l'eau (5).

Il doit être de règle que, lorsque l'usage des explosifs a été interdit dans une taille, tous les instruments relatifs à ce travail soient remontés au jour.

219 — Quelles que soient les garanties qu'elle procure, la suppression radicale de l'emploi des explosifs, qui constitue une solution coûteuse au point de vue économique, ne saurait être appliquée dans un grand nombre de mines grisouteuses. On s'est donc efforcé de modifier la nature des substances explosives et leurs conditions d'emploi, de manière à faire disparaître autant que possible le danger des coups de mine pour ces exploitations (6).

(1) *Bull. min.*, 3e, VIII, 576.

(2) *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VI, 331.

(3) *Revue industrielle*, 1888, 9.

(4) *Mém. des ingénieurs civils*, 1887, 1er sem., 468. — *Œsterreichische Zeitschrift für Berg. und Hütten Wesen*, 1887.

(5) *CRM*, 1886, 98. — Lum. électr., XXX, 537.

(6) Macquet, *Explosifs de sûreté*, Paris, Baudry, 1893. — Trauzl, *La question du grisou*, traduit par Barbe, Paris, Chevillard, 1885. — Watteyne, *Emploi des explosifs dans les mines de houille de Belgique*, Ixelles, Narcisse, 1895. — *Annales*, 8e, XVIII, 580. — *Bull. min.*, 3e, III, 1235. — *CRM*, 1888, 13, 68 et 221 ; 1889, 17 ; 1890, 106 ;

Digitized by Google

En dehors des recherches expérimentales faites par les Commissions spéciales instituées en Prusse (1), en Angleterre (2), en Autriche (3), en Saxe (4), les travaux de la Commission française du grisou, et notamment les remarquables études de MM. Mallard et Le Chatelier (5), ont jeté un jour nouveau sur cette importante question, en définissant quelles conditions doit remplir un explosif pour présenter le maximum de sécurité que l'on peut espérer atteindre.

220 — Ces études ont montré que les mélanges d'air et de grisou, qui sont inflammables à 650 degrés, pouvaient ne pas être allumés par les explosifs, bien que la température de combustion de ceux-ci fût notablement plus élevée.

Ce fait résulte en premier lieu de la propriété capitale du grisou de présenter un *retard à l'inflammation* (Chap. XLI), c'est-à-dire de demander un certain temps d'échauffement pour s'allumer; en second lieu, de la manière spéciale dont se comportent, au moment de la détonation, les explosifs brisants.

Nous avons vu (N° 207) en quoi la déflagration des poudres lentes se distingue de la détonation de ces derniers. Il est d'abord facile de se rendre compte qu'avec les premières, quelles que soient leurs conditions d'emploi, l'on ne peut pas espérer se mettre à l'abri du danger, si la combustion a lieu à l'air libre. Les

1891, 35 ; 1892, 5 et 81. — *Rev. univ. d. m.*, 2e, IX, 446 et 3e, XVIII, 280. — *Génie civil*, X, 238 et XI, 7, 60, 109 et 254. — *Mémoires des ingénieurs civils*, 1889. — *Revue des cours scientifiques*, 1887, 262. — *Mémoires de l'Union des ingénieurs de Louvain*, 1889.

(1) *Annales*, 3e, VIII, 600 et 8e, IX, 593 et 638. — *Bull. min.*, 2e, XIV, 133. — *Zeitschrift BHS*, XXXII, 575 et XXXVII, 1889. — *Anlagen zum Haupt-Berichte der preussischen Schlagwetter Commission*, Berlin, Ernst et Korn, 1885. — *Annales industrielles*, 1889, 828.

(2) *Annales*, 8e, X, 103. — *CRM*, 1894, 219.

(3) *Annales*, 9e, I, 239.

(4) *Annales*, 8e, XI, 299. — *Jahrbuch für das Berg, Hütten und Salinen Wesen im Königreiche Sachsen*, 1886.

(5) *Annales*, 8e, IV, 276 ; 8e, XIV, 197, 295 et 319 ; 8e, XVI, 15 et 77 ; *Annales*, partie administrative, 8e, VII, 331. — *Comptes rendus*, CVII, 96. — *Bull. min.*, 3e, III, 659. *Mémorial des poudres et salpêtres*, II, 355 et 466. — *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, V, 374. — Le Chatelier, *Le grisou*, Paris, Gauthier-Villars. — Dr Gurlt, Le tirage à la poudre dans les mines à grisou, *Rev. univ. d. m.*, 2e, IX, 446.

Digitized by Google

gaz produits en effet, qui sont à une température supérieure à 2000 degrés, se dégagent à une pression relativement faible; leur détente leur fait perdre peu de chaleur; ils ne se refroidissent guère que par leur mélange avec l'air grisouteux en échauffant celui-ci, et rien ne s'oppose à ce que cet air soit maintenu pendant plusieurs secondes à une température supérieure à 650 degrés. S'il s'agit d'une charge de poudre lente enfermée dans un trou de mine, comme sa combustion n'est pas instantanée, il arrive que le coup débourre, ou même saute, avant que la charge soit entièrement brûlée; l'explosif se trouve alors en contact avec le mélange grisouteux et l'enflamme. Aussi presque tous les règlements interdisent-ils l'emploi de la poudre noire dans les mines à grisou.

221 — Les phénomènes sont tout autres avec les explosifs brisants. Supposons qu'une substance de ce genre détone à l'air libre : par suite de l'instantanéité de sa combustion, et de sa transformation immédiate en gaz occupant le même volume sous une pression énorme et à température élevée, il se produit une détente très violente qui transforme en travail une fraction importante de la chaleur sensible. Cette expansion, qui sera d'autant plus énergique que la pression initiale des gaz aura été plus considérable, a en outre pour résultat de produire un mélange extrêmement rapide des gaz chauds avec l'air extérieur. Si donc leur température n'est pas trop élevée, il pourra se faire que le mélange grisouteux ne soit pas porté à une température supérieure à 650 degrés pendant un temps assez long pour qu'il s'enflamme.

La sécurité sera d'ailleurs d'autant plus grande que la masse de gaz chauds dégagée sera plus faible, c'est-à-dire que le poids de la charge sera moindre. La température développée ne varie pas en effet avec la quantité de matière explosive; la vitesse de projection ne change pas non plus, puisque la pression initiale est toujours la même; mais plus la masse des gaz projetés sera considérable, plus il faudra de temps pour qu'en se mélangeant avec l'air ambiant, ils descendent à une température inférieure à 650 degrés.

Si l'explosif est confiné dans une enveloppe résistante, comme les parois d'un tube métallique ou d'un trou de mine, le travail

Digitized by Google

produit pour disloquer l'obstacle et le projeter absorbera une certaine quantité de chaleur; les chances d'inflammation seront donc moindres qu'à l'air libre.

Mais si cette enveloppe résiste et ne cède qu'en un point, comme pour le cas des coups de mine débourrants, la détente s'effectuera dans des conditions moins favorables et entraînera un moindre refroidissement; car le travail mécanique produit diminuera. Le danger s'aggravera donc parce que les gaz arriveront au contact de l'air grisouteux chargés d'une quantité de chaleur plus considérable. Celle-ci sera du reste d'autant moindre que la bourre aura une masse plus notable, et que sa projection aura nécessité plus de travail [1].

Ces diverses considérations, qui toutes ont été vérifiées par des expériences directes de la Commission française du grisou, lui ont permis de définir les règles auxquelles il convient de se conformer dans les mines grisouteuses, soit au point de vue de la composition même des explosifs, soit en ce qui concerne leurs conditions d'emploi.

222 — La *composition des explosifs* doit être telle que la température des gaz dégagés soit aussi peu élevée que possible; mais comme la force des explosifs diminue en général avec cette température, il était utile de savoir jusqu'à quelle limite il est nécessaire de l'abaisser.

Les essais de la Commission française ont montré que des cartouches d'explosif brisant de 50 grammes, détonant à l'air libre, n'enflamment pas le grisou lorsque leur température de détonation est inférieure à 2200 degrés; elles l'allument quand cette température est plus élevée. Le danger augmente avec le poids du chargement; mais on a vérifié que des charges de 200 grammes n'enflamment pas le grisou à l'air libre, si leur température de détonation ne dépasse pas 1500 degrés.

MM. Mallard et Le Chatelier ont d'ailleurs indiqué comment on peut évaluer la température de combustion d'un explosif

[1] Le Chatelier, *Le Grisou* (Aide-mémoire Léauté), 146.

Digitized by Google

donné, quand on possède la formule de la réaction chimique réalisée par sa détonation. Le calcul est basé sur les principes suivants.

La quantité de chaleur Q dégagée par cette décomposition est connue par les recherches thermochimiques de MM. Berthelot, Sarrau et Vieille : on sait, en effet, d'une part quelle est la chaleur de formation de l'explosif à partir de ses éléments simples, d'autre part quelles sont les quantités de chaleur dégagées par la formation à volume constant, à partir des mêmes éléments, des produits donnés par la détonation. La quantité Q s'obtiendra en retranchant la première du total de ces dernières.

On sait en outre que, si c désigne la chaleur spécifique à volume constant des produits de la détonation, entre zéro et la température obtenue t, la quantité de chaleur dégagée Q satisfait à l'égalité :

$$Q = ct.$$

Or, d'après les recherches de MM. Mallard et Le Chatelier, le coefficient c est dans ce cas de la forme $A + Bt$, en désignant par A et B des coefficients déterminés pour chaque gaz. On a donc :

$$Q = At + Bt^2,$$

équation du deuxième degré qui permet de calculer l'inconnue t [1].

223 — Au moyen de ces formules, on peut apprécier le degré de sécurité que présente un explosif donné. En France, les travaux de la Commission du grisou ont conduit à interdire dans les exploitations grisouteuses l'usage de ceux dont la température de détonation est supérieure à 1900° pour les travaux au rocher, et à 1500° dans la couche. Les premiers sont un peu moins sûrs, mais plus puissants que les seconds. En outre les produits de la détonation ne doivent contenir aucun élément combustible, tel que l'hydrogène, l'oxyde de carbone, le carbone solide, etc.

[1] Une note annexée à la circulaire ministérielle du 1er août 1890 (*Annales*, partie administrative, 8e, IX, 375) contient les données numériques nécessaires pour appliquer ce calcul aux explosifs les plus usuels.

Digitized by Google

Aucun des explosifs *simples* qui étaient usités dans les mines, il y a quelques années, ne satisfaisait à ces conditions. La température de détonation est de 3090 degrés pour la dynamite-gomme ordinaire, 2940 pour la dynamite n° 1, et 2060 pour le coton octo-nitrique.

Mais en mélangeant ces explosifs simples à un autre corps susceptible de détoner à une température notablement inférieure, on a formé des explosifs *binaires* ou multiples, qui remplissent les conditions exigées et que l'on a nommés *explosifs de sûreté*. La substance à laquelle on a eu le plus souvent recours pour remplir ce rôle est l'azotate d'ammoniaque. Il ne peut être employé seul, car son explosion n'est obtenue qu'avec peine sous l'action du fulminate; mais il détone facilement si on le mélange avec d'autres matières plus sensibles. Sa température de détonation est de 1130 degrés.

Le tableau ci-dessous fait connaître la composition et la température de détonation de quelques explosifs de ce genre, qui sont employés dans les mines grisouteuses [1].

COMPOSITION DES EXPLOSIFS	TEMPÉRATURE DE DÉTONATION
Explosifs pour les travaux en couche.	
Dynamite-gomme à 2 pour 100 de coton : 12 p. — Azotate d'ammoniaque : 88 p.	1 493°
Dynamite n° 1 : 20 p. — Azotate d'ammoniaque : 80 p.	1 468°
Coton octonitrique : 9,5 p. — Azotate d'ammoniaque : 90,5 p.	1 450°
Trinitronaphtaline : 4,5 p. — Azotate d'ammoniaque : 95,5 p.	1 445°
Explosifs pour les travaux au rocher.	
Dynamite-gomme à 2 pour 100 de coton : 30 p. — Azotate d'ammoniaque : 70 p.	1 815°
Dynamite n° 1 : 40 p. — Azotate d'ammoniaque : 60 p.	1 800°
Coton octonitrique : 15 p. — Azotate d'ammoniaque : 85 p.	1 770°
Binitronaphtaline : 8,5 p. — Azotate d'ammoniaque : 91,5 p.	1 875°

Ces substances se conservent bien à la condition d'être protégées

[1] Le Chatelier, *le Grisou*, 159.

Digitized by Google

contre l'humidité, l'azotate d'ammoniaque étant déliquescent. On enveloppe les cartouches de papier paraffiné ou suiffé.

D'autres explosifs simples ont été, dans le même but, mélangés à l'azotate d'ammoniaque. C'est ainsi que les *grisoutines* contiennent de la nitroglycérine, la *bellite* de la binitrobenzine, etc.

Il est nécessaire, avant d'adopter un explosif proposé pour les travaux grisouteux, d'évaluer sa température de détonation. Afin de permettre d'effectuer ce calcul, le décret du 26 juillet 1890[1] a obligé les fabricants à inscrire, sur l'enveloppe de toute cartouche mise en vente, l'indication de la nature et du dosage des substances qui la constituent.

224 -- Pour abaisser la température des gaz produits, on a aussi proposé d'ajouter aux explosifs simples, non plus une autre substance détonante, mais une matière non explosive, dont la décomposition, provoquée par la haute température de la combustion, absorbe de la chaleur.

Dans cet ordre d'idées, on a employé le plus souvent des sels hydratés qui perdent leur eau sous l'influence du calorique, par exemple le carbonate de soude (comme dans la *wetterdynamit* ou dynamite-grisou), le sulfate de magnésie (dans la grisoutite), le sulfate de soude, etc. Ces sels présentent l'inconvénient de ne se décomposer que fort imparfaitement par la détonation des cartouches à air libre, et d'absorber dès lors peu de chaleur. Ils se dénaturent mieux lorsque celles-ci sont placées dans un trou de mine. La conservation des mélanges ainsi obtenus est en outre difficile, quand ils se composent d'un sel qui se déshydrate à température peu élevée, comme le carbonate de soude, et d'une certaine quantité de dynamite. Dans ce cas en effet, la déshydratation peut se produire en magasin, et l'eau mise en liberté se substitue ensuite à la nitroglycérine qui exsude.

225 — La composition des explosifs n'est pas le seul point à considérer pour atténuer le danger des coups de mine dans

Annales, partie administrative, 8e, IX, 317.

Digitized by Google

les exploitations grisouteuses; les *conditions d'emploi* présentent aussi une grande importance. On a vu, en effet, que les règles imposées en France pour la composition des explosifs de sûreté sont basées sur des expériences faites à l'air libre avec des charges de 200 grammes; elles ne sauraient être considérées comme garantissant la sécurité lorsque le poids devient plus considérable, ou que, le coup de mine venant à débourrer, l'explosion se produit dans des conditions particulièrement périlleuses.

On atténuera ces causes de danger en veillant à ce que les coups soient bourrés avec beaucoup de soin et sur une grande longueur (N° 180). Cette précaution est essentielle, non seulement pour éviter le débourrage, mais aussi en vue d'accroître la densité de chargement et de faire produire à l'explosif un travail mécanique aussi considérable que possible; circonstances éminemment propres (N° 221) à augmenter la sécurité en abaissant la température des gaz de la combustion.

L'influence du travail produit et de la densité de chargement est telle, qu'elle peut suffire à empêcher l'inflammation des mélanges grisouteux par des explosifs à température de détonation très élevée. C'est ainsi que les capsules ordinaires au fulminate enflamment le grisou, tandis que les capsules *renforcées*, dans lesquelles ce sel est comprimé et entouré d'une enveloppe plus résistante, ne l'allument pas. De même les explosifs brisants usuels, tels que la dynamite ordinaire et la dynamite-gomme, sont beaucoup moins dangereux quand ils détonent sous un bourrage suffisant.

En dehors de la résistance offerte par le bourrage, sa composition présente elle-même une importance qui n'est pas négligeable. La mise du feu nécessite aussi dans les travaux grisouteux des précautions spéciales. Nous avons déjà indiqué (§§ 4 et 5 du présent chapitre) quelles étaient les règles à suivre à ces divers points de vue.

Digitized by Google

§ 7

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

226 — Le matériel du tireur à la poudre comprend un certain nombre d'outils, dont la description a été présentée successivement. Je la compléterai par les données numériques suivantes[1] :

OUTILS	SUBSTANCES	LONGUEUR	LARGEUR	POIDS	PRIX
		millim.	millim.	kilogr.	francs
Massette à 1 homme (hauteur 0m,048) . .	Fer aciéré	110	53	2,00	2,20
Massette à 2 hommes (hauteur 0m,070) . .	Fer	140	70	5,50	6,05
Jeu de fleurets avec diamant de . . . 0m,036.	Fer	1300	25	4,94	1,70
Jeu de fleurets avec diamant de . . . 0m,039	Fer	1000	25	3,80	1,25
Jeu de fleurets avec diamant de . . . 0m,042.	Fer	700	25	2,66	0,95
Jeu de fleurets avec diamant de . . . 0m,036.	Acier	1300	25	5,00	4,95
Jeu de fleurets avec diamant de . . . 0m,039.	Acier	1000	25	4,00	3,80
Jeu de fleurets avec diamant de . . . 0m,042.	Acier	700	25	2,80	2,70
Curette.	Fer	940	10	0,54	0,30
Épinglette	Cuivre	800	8	0,31	0,95
Bourroir (diamètre décroissant de 0m,032 à 0m,016). .	Fer et cuiv.	1000	»	1,65	1,45

Quant aux résultats obtenus dans les diverses roches et aux consommations qui leur correspondent, rien n'est plus difficile à définir *a priori*, et l'on éprouvera souvent dans une même formation des variations sensibles. On peut cependant formuler quelques points de comparaison, suffisants pour poser les bases d'un avant-projet. Ils sont compris dans le tableau suivant[2].

(1) Ce tableau, qui complète celui du n° 141, a été dressé à l'aide des mêmes documents. Au prix des massettes, il convient d'ajouter 0 fr. 20 pour celui des manches.

(2) Ce tableau, ainsi que celui de la page 249, ont été dressés d'après ceux qui se trouvent insérés dans le *Cours d'exploitation des mines* de Callon (I, 199 et 201).

Digitized by Google

ROCHES	NOMBRE DE JOURNÉES par mètre courant		POIDS DE POUDRE en kilogrammes		PRIX DE REVIENT EN FRANCS du				AVANCEMENT PAR MOIS en mètres	
					MÈTRE COURANT		MÈTRE CUBE			
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Roches récalcitrantes exceptionnelles	50	50	12,0	12,0	236,00	236,00	67,00	67,00	2,00	2,00
Granite dur et quartzeux. . . .	20	30	8,0	10,0	120,00	145,00	34,00	41,00	3,35	5,00
Filons très durs et très quartzeux	24	24	3,5	3,5	104,75	104,75	30,00	30,00	4,00	4,00
Terrain houiller très dur, grès, poudingues.	15	20	4,0	8,0	70,00	100,00	20,00	28,50	5,00	6,65
Terrain houiller assez dur, granite ordinaire.	10	15	3;0	4,0	47.50	70,00	13,50	20,00	6,65	10,00
Terrain houiller ordinaire et schiste tendre.	7	10	1,5	3,0	31,75	47,50	9,00	13,50	10,00	14,00
Terrain houiller facile.	4	6	1,0	1,5	18,50	27,75	5,20	8,00	15,00	25,00
Chantier de 6 mètres carrés de section dans la houille. . . .	2	4	0,0	0,3	8,00	16,75	1,35	2,80	25,00	50,00

Digitized by Google

Ces chiffres supposent des journées de 4 francs, le prix de la poudre à 2 fr, 50 le kilogramme, et une galerie de 3,50 mètres carrés de section[1]. L'activité de l'abatage se ressent des conditions de l'emplacement; elle ne serait pas la même dans des chantiers de nature différente. A cet égard on peut, en prenant pour base les résultats précédents, passer à d'autres conditions, en employant les coefficients de conversion suivants, qui s'appliquent au prix du mètre cube :

OUVRAGES	MINIMUM	MAXIMUM
Ouvrage à grande section (*)	0,40	0,50
Montage	1,50	1,50
Fonçage plus ou moins gêné par les eaux,	1,50	2,00
Filons exploités par gradins. Puissance faible	0,65	0,75
Filons exploités par gradins. — moyenne	0,50	0,50
Filons exploités par gradins. — grande	0,35	0,50
Grand ouvrage à gradins à ciel ouvert	0,25	0,25

(*) Présentant 12^{m2} à l'avancement, plus 24^{m2} au rebanché.

Les renseignements qui précèdent concernent le tirage à la poudre noire, et supposent les trous de mine forés à la main Quand on emploie des explosifs brisants, le prix de revient est en général augmenté, mais l'avancement devient beaucoup plus rapide. L'extension de l'usage de ces dernières substances a coïncidé avec le développement qu'a pris celui des perforateurs, soit à la main, soit mécaniques; nous donnerons, à propos de l'abatage mécanique, des exemples de prix de revient qui sont relatifs à des percements de galerie effectués avec des explosifs de cette nature.

[1] Dorlhac a donné un tableau spécial de résultats, que l'on pourra consulter avec intérêt (*Bull. min.*, 1re, VII).

Digitized by Google

CHAPITRE VIII

ABATAGE MÉCANIQUE

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS

227 — Nous avons décrit dans les chapitres précédents les diverses natures d'opérations que le mineur peut avoir à effectuer pour abattre les roches ou le charbon. On a cherché depuis longtemps à substituer les moteurs mécaniques à la force musculaire de l'homme pour l'exécution de ces travaux; et un nombre considérable d'appareils ont été introduits en vue de reproduire l'effet du travail manuel dans l'une ou l'autre de ces circonstances. L'ouvrier n'intervient plus alors que pour disposer la machine et diriger son fonctionnement.

Les moteurs mécaniques sont surtout employés dans les mines pour effectuer trois sortes de travaux qui font partie de l'abatage.

Ils sont d'abord utilisés pour le forage des trous de mines. C'est ce genre de travail qu'on leur demande le plus souvent; il est obtenu à l'aide des *perforateurs mécaniques*.

On en fait également usage pour pratiquer dans la masse qu'il s'agit d'attaquer les coupures horizontales ou verticales désignées sous le nom de havages ou de rouillures (N° 136). Les appareils construits dans ce but sont les *haveuses mécaniques*.

Enfin on les a aussi appliqués pour le percement de galeries au rocher, en agissant sur toute la section à la fois, sans emploi

Digitized by Google

d'explosifs. Nous désignerons les organismes qui fonctionnent de cette manière sous le nom général de *machines à tunnels*.

228 — Outre ces trois catégories d'opérations, que nous étudierons en détail dans les paragraphes suivants, on a encore employé les moteurs mécaniques pour le battage des aiguilles infernales (N° 138). Ce travail est effectué avec les mêmes organes que ceux qui produisent par percussion le forage des trous de mine. On se borne à y remplacer, à l'extrémité de la tige porte-outil, le fleuret par une masse qui vient frapper sur la tête du coin. Cet appareil porte le nom de *bosseyeuse*; son emploi s'est particulièrement développé aux mines de Marihaye, de Blanzy et de Rochebelle (1).

En dehors des avantages que présente cette dernière application des appareils mécaniques, en permettant dans les exploitations grisouteuses la suppression complète de l'usage des explosifs, le point de vue économique lui-même peut suggérer à cet égard quelques réflexions encourageantes. Nous avons vu (N° 210) que 1 kilogramme de poudre de mine peut développer environ 270 000 kilogrammètres dans la désagrégation des roches (2). Or ce chiffre est précisément égal au travail qui correspond par heure à une force de cheval, et l'on sait d'ailleurs qu'avec de très bonnes machines à vapeur on peut le réaliser en brûlant 1 kilogramme de houille. Dans ces conditions, la puissance industrielle de la poudre et du charbon serait donc la même à poids égal. Par conséquent, lors même que l'on porterait à 20 francs le prix de la tonne d'un tel combustible, c'est-à-dire à 0 fr, 02 le kilogramme, celui de la poudre étant de 2 francs, on voit que

(1) Haton de la Goupillière, Bosseyage mécanique (*Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XII, 125). — Clerc, Données relatives au bosseyage (*Mémoires des ingénieurs civils*, décembre 1883, 629). — Dubois et François, Compresseur d'air et bosseyeuse, in-4e. — Bosseyeuse Dubois et François. (*Rev. univ. d. m.*, 2e, XI, 462; XV, 336. — *Annales industrielles*, 1884, I, 398, 459, 485, 550 ; II, 402, 434. — *CRM*, 1881, 102 ; 1882, 88). — Bosseyeuses de Blanzy (*Bull. min.*, 3e, II, 91). — Mathet, *CRM*, juin 1882. — Haber, *Rev. univ. d. m.*, 2e, XII, 557. — Watteyne, *Ibidem*, 2e, XV, 1884. — Habets, *Ibidem*, 2e, VIII, 241. — De Sinner, Les remplaçants des explosifs dans les mines à grisou (*Bulletin de la Société Vaudoise des ingénieurs et architectes*, 1885). — Buisson, *Bull. min.*, 2e, VIII, 877 ; 3e, II, 91, 411.

(2) Biver, *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCI, 831.

Digitized by Google

l'effet utile coûterait avec cette dernière le centuple de ce que peut fournir la houille. Il resterait, à la vérité, à tenir compte d'autre part du rendement propre aux appareils mis en jeu; mais on comprend néanmoins, sans insister davantage, quelle marge il reste encore dans cette appréciation sommaire, pour leur constituer un avantage sur l'emploi des explosifs.

229 — Ce sont les moteurs à air comprimé que l'on utilise le plus fréquemment pour l'abatage mécanique, mais on a également fait usage de la force hydraulique, ou même de celle de la vapeur. Depuis quelques années, les moteurs électriques ont pris de leur côté une certaine extension, surtout en Amérique et en Angleterre; au point de vue spécial des travaux d'abatage, les canalisations qui relient ces appareils à la source d'énergie ont surtout l'avantage de pouvoir se déplacer facilement d'un chantier à l'autre.

§ 2

PERFORATEURS MÉCANIQUES

230 — *Perforatrices rotatives.* — Dès l'année 1835, Combes conseillait l'application des moyens mécaniques au forage des trous de mine. L'avenir lui a donné raison, et les types de perforatrices se sont aujourd'hui multipliés, pour ainsi dire, sans limites [1]. La dépense de main-d'œuvre constitue souvent, en

[1] *Annales*, 6e, XVII, 519, Hasslacher; 7e, I, 17 et 283, Pernolet; XV, 427 et 434; 8e, I, 89 et 97, Revaux. — *CRM*, 1875, juillet, 9, Baure; décembre, 9, Baure; 1876, juin, 5, Baure; novembre, 1, Crozet; 1877, novembre, 9, Chansselle; 1878, 213, Buisson; 1880, 43, 103 et 177, Martin; 1882, 62, Gaillard. — *Bull. min.*, 2e, I, 199, Chansselle; 238, Cacarrié; 381, Pernolet; II, 1, Pernolet; 385, Mathet; III, 596, Pernolet; VIII, 54, Aguillon; 873. Buisson. — *Bull. Soc. d'enc.*, 1875, 505. — *Revue industrielle*, 29 avril et 9 décembre 1874, 26 mai 1875. — *Les Mondes*, XXXII, 537. — *Rev. univ. d. m.*, 1re, XIX, 397; XXXIII, 63; XXXVI, 29, 89, 106; XXXIX, 489; 2e série, I, 63, 192; III, 652, 682, 714; IV, 465. — *The Engineer*, 1875, 9. — *Engineering*, 1875, 274. — Mathet, *Étude sur le grisou*, in-4° lithographié, 100. — Guénez, *Bulletin de la Société des anciens élèves des écoles d'arts et métiers*, septembre 1878. — Hanarte, *La perforation mécanique par le perforateur Ferroux*, Mons, 1879; — Ponson, *Supplément au Traité de l'exploitation des mines de houille*, I, 2, 18, 55; — *Rapports trimestriels au gouvernement fédéral sur le percement du Saint-Gothard.* — Rziha, *Tunnelbau*, I, 131. — Stappf, *Ueber Gesteinbohr-*

Digitized by Google

effet, la plus grande partie des frais, et la force de l'homme est très mal utilisée dans le forage ordinaire ([1]).

Ainsi que les appareils à main (Nos 158 à 161), les perforatrices mécaniques peuvent agir sur la roche soit par rodage, soit par percussion.

231 — Le type des *perforateurs rotatifs* est de beaucoup le moins répandu, à l'inverse de ce qui s'est produit pour les appareils à main fondés sur le même principe.

Certains appareils rotatifs sont à outil d'acier, comme le perforateur Brandt qui a été employé dans les travaux ouest du tunnel de l'Arlberg ([2]). D'autres dérivent de la machine à diamant noir de Leschot, qui a également donné naissance au procédé analogue de sondage (chap. IV, § 8). Les perforatrices au diamant ont pris une nouvelle impulsion, grâce aux perfectionnements apportés par M. Taverdon ([3]), et à son procédé d'enrobage du diamant (N° 99).

La vitesse de rotation, assez faible pour les outils d'acier, devient beaucoup plus considérable avec l'emploi du diamant. Elle peut aller jusqu'à 3000 tours par minute pour la perforatrice Taverdon.

L'avancement est réglé par des procédés analogues à ceux que nous avons indiqués à l'occasion des appareils mus à la main.

Pour actionner ces perforatrices, on emploie les moteurs rotatifs

maschinen, Stockholm, 1859; Fahlun, 1869. — Drinker, *Composés explosifs et perforatrices employés pour le percement des galeries*, in-4°, New-York. — Soulié, *Matériel et procédés de l'exploitation des mines*. — Druge, *Bull. min.*, 3°, VII, 387. — Une liste de 78 brevets, Armengaud, *Publication industrielle*, 2°, V, 500. — Bardon, *CRM*, 1879, 277. — Garnier, *Ibidem*, 283. — Baure, *Ibidem*, 1880, 132. — Brunton, *Rev. univ. d. m.*, V, 1879, 236. — Chalon, *Génie civil*, XI, 234, 328, 381 : XII, 88, 149. — Delafosse, *CRM*, 1895, p. 193. — Forchheimer, Schräm und Schlitzmaschinen, Tunnelbohrmaschinen (*Handbuch der Ingenieurwissenschaften*). — Theodor Schwartz, *Die Steinbearbeitungsmaschinen*. — Schultz, *Die Baumaschinen*.

([1]) 4 à 5 0/0 seulement, d'après M. Stappf, avec 95 0/0 de perte.

([2]) Perforateur Brandt (*Annales industrielles*, 1884, I, 775. — *Annales*, 8°, II, 102. — *Oesterr. Zeit.*, 1877, 515), Dron (*Bull. min.*, 2°, VIII, 873), Jarolimek (*Rev. univ. d. m.*, 2°, X, 60. — *Oesterr. Zeit.*, 1881, 164), Jeffrey (*Bull. min.*, 3°, VIII, 84), Jordan (*Bull. min.*, 2°, VIII, 920), Leschot (Colladon, *Mémoires des ingénieurs civils*, 7 mars 1884, 59. — Tresca, *Annales du Conservatoire*, IV, 4), Stanek et Reska (*Rev. univer.*, *d. m.*, 2°, X, 60), Stravenson (*Rev. univ. d. m.*, 3°, II, 105), Walker (*Ibidem*, 3°, II, 105).

([3]) Perf. Taverdon (*CRM*, 1880, 158. — *Bull. min.*, 2°, VIII, 873. — *Lum. élect.*, XIII, 14).

Digitized by Google

à air comprimé, et souvent ceux de Perret, La Roche Tolay ou autres semblables à haute pression d'eau. On a proposé récemment un grand nombre de perforatrices rotatives mues par l'électricité [1]; une dynamo montée sur le bâti de l'appareil transmet son mouvement de rotation au porte-outil, soit directement, soit, pour réduire la vitesse du fleuret, par l'intermédiaire d'engrenages; c'est ce dernier principe qui a été appliqué dans la perforatrice Steavenson [2], aux mines de fer de Clarin How (Cleveland).

Les perforatrices rotatives sont en général employées dans les terrains relativement tendres, auxquels s'appliquent moins facilement les perforateurs à percussion; elles constituent des machines très légères et facilement transportables.

232 — *Perforatrices percutantes.* — Les appareils percuteurs peuvent opérer de deux manières différentes, suivant que l'on y copie le travail de la barre à mine (N° 161), ou le double choc du forage avec le burin et la massette (N° 162).

Ce dernier principe se trouve représenté par les systèmes Barthelson, Gainschnigg, Schwarzkopf, Warsop, dans lesquels une masse manœuvrée par la machine vient frapper un fleuret distinct placé dans le trou. Nous avons expliqué déjà (N° 162) que ce double choc est nuisible. S'il a néanmoins généralement prévalu dans le travail à la main, en raison des grandes facilités qu'il y apporte, les mêmes motifs ne sauraient plus être invoqués quand on dispose de toutes les ressources de la mécanique.

La vraie solution est donc calquée sur l'emploi de la barre à mine, que l'on guide comme dans l'appareil Delahaye (N° 161), en la lançant toutefois, non plus par la force de l'homme, mais à l'aide d'un agent mécanique qui peut être l'air comprimé, la vapeur ou l'électricité. La perforation à air comprimé, inaugurée par Bartlett et rendue pratique par Sommelier, a donné naissance

(1) Perf. Andrews (*Ibidem*, XXXVI, 478), Arnot, Baker, Brain, Jones (*Ibidem*, XLIX, 14), Phelps (*Lum. élect.*, XXX, 51), Storey (*Ibidem*, XXXV, 573), Thomson-Houston (*Rev. industrielle*, 5 janvier 1895).

(2) *Lum. élect.*, L, 251.

Digitized by Google

à une multitude d'appareils, et c'est un des instruments du mineur sur lesquels s'est le plus exercée l'ingéniosité des inventeurs. Les appareils percutants à l'air comprimé sont de beaucoup les plus employés [1].

Les perforatrices mues par la vapeur, rarement usitées, ne servent qu'à l'exploitation des découverts, où l'on peut les alimenter à l'aide de chaudières locomobiles aisément transportables. Elles ne diffèrent guère d'ailleurs comme disposition des appareils à air comprimé.

Enfin les perforatrices à percussion électriques, qui ne datent que de quelques années, ont déjà donné lieu à un grand nombre de

[1] Allison, Angstroem, Azolino, Barlow, Barnes, Barrow, Bartlett, Barzano, (*Rev. univ. d. m.*, 3e, XII, 209; *Bull. min.*, 3e, IV, 119), Bergstroem, Bourdial, Braconnier, Brain, Broszmann (*Bull. min.*, 2e, XII, 605. — *Annales industrielles*, 1883, I, 411), Brunet (*CRM*, 1880, 158), Brydon, Burleigh (*Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1873, 316. — *Berggeist*, 1873, 427), Burton (*Bull. min.*, 3e, VI, 383), Cassat et Lepourcq, Castelain, Chodzko (*Bull. min.*, 2e, VIII, 270), Cornet et Deschamps, Cornish, Cranston, Crease, Crozet, Darlington-Blanzy (*Bull. min.*, 2e, VIII, 873), Daumont, Doering, Donkin, Dron (*Bull. min.*, 2e, VIII, 873), Dubois et François (*Annales*, 7e, XV, 437. — *Bull. min.*, 2e, VIII, 873; 3e, II, 89. — *CRM*, 1879, 285; 1880, 132; 1882, 62. — *Annales industrielles*, 1884, I, 485; II, 402. — *Engineering*, juillet 1889, 45. — Clerc, *Notes sur les machines Dubois et François*, 1883. — Dubois et François, *Compresseur d'air et bosseyeuse*, in-4°), Dunn (*Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 652), Durenne, *Éclipse* (*Bull. min.*, 2e, VIII, 873; 3e, VI, 383. — *CRM*, 1886, 22. — *Rev. industrielle*, 1881, 54), Eschenbacher, *Excelsior*, Ferraris, Ferroux (*Annales*, 7e, XV, 439. — *CRM*, 1880, 132; 1882, 62, — *Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 675; IV, 465. — Armengaud, *Publication industrielle*, 2e, VIII, 101), Fontenay, Ford, Fowle, Frörlich (*Annales*, 8e, II, 97. — *Wochenschrift der deutscher Ingenieure*, 1879, 333. — *Zeitschrift der deutscher Ingenieure*, XXIV, 37; XXVI, 381), Giambustini, Gottbeil, Green, Guenez (*Bull. de la Soc. des anc. él. des éc. d'arts et métiers*, septembre 1878. — *CRM*, 1881, 31. — *Bull. min.*, 2e, VIII, 873), Hagans, Hanarte (*Engineering*, 12 juillet 1889, 45), Harrison, Haupt, Hawthorn (*Bull. min.*, 2e, VIII, 256), Hipp, Humboldt, Ingersoll (*Bull. min.*, 2e, VIII, 873. — *Rev. univ. d. m.*, 2e, I, 192; III, 689. — *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, X, 1322. — *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1876, 159, 437), Kainotomon, Kennedy, Low, Mac-Culloch (*Génie civil*, XXIII, 181), Mac-Kean (*Annales*, 7e, XV, 446), Mahler, Mailliet, Mercier, Meyer, *National drill*, Neill, Normandy, Osteskamp, *Optimus* (*CRM*, 1895, 42. — *Revista minera*, 24 janvier 1895), *Power jumper* (*Bull. min.*, 2e, III, 620. — *Mining journal*, XLII, 854; XLV, 862. — *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1873, 190), Prince, Rand, Reynold, Riand, Richter, Rosenkrantz, Sachs (*Bull. min.*, 2e, XII, 605. — *Rev. univ. d. m.*, 1re, XXXVI. — *Annales industrielles*, 1881, I, 411, 434. — Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 145), Schmidt, Schramm (*Bull. min.*, 2e, VIII, 873. — *Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 691; XII, 557. — Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 154), Schumann, Sergeant (*Rev. univ. d. m.*, 3e, XII, 209), Séguin, Sievers, Simpson, Sommelier (*Annales*, 7e, XV, 430), Sotzmann, Sullivan, Tacquenier, Tigler, Trantz (*Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 694), Turrettini (*Annales*, 7e, XV, 448. — *Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 695), Twigg, Ulathorne, Welker (Armengaud, *Publication industrielle*, 2e, VIII, 353), Waring, Warington, Wincqz, Wood.

Digitized by Google

types variés [1]; jusqu'à présent, elles sont surtout utilisées en Amérique, et ne se sont pas encore répandues en Europe.

Malgré leur variété presque indéfinie, tous les perforateurs à percussion présentent certains traits de rapprochement tenant à la nature du but commun auquel ils sont appropriés, et la plupart peuvent se ramener à un nombre restreint de systèmes vraiment distincts.

Le fleuret, qui doit pouvoir être facilement changé, soit lorsque son taillant est usé, soit pour le remplacer par un autre de longueur différente, se trouve fixé à l'extrémité d'une tige qui est animée de trois mouvements : 1° celui de frappe ou de percussion; 2° sa rotation sur elle-même après chaque coup; 3° le mouvement d'avancement destiné à suivre l'approfondissement du trou.

233 — *Mouvement de percussion.* — Dans les perforateurs à air comprimé, le mouvement de va-et-vient est produit par la distribution du fluide moteur, qui agit alternativement sur les faces postérieure et antérieure du *piston porte-outil*; mais son action doit remplir des conditions différentes dans les deux sens.

Pour la marche en avant, il faut brutaliser la roche. L'énergie de la percussion dépend de la tension de l'air comprimé, qui varie en général de 3 à 5 atmosphères, et l'on doit prolonger jusqu'au choc l'influence de la pleine pression. Cette énergie augmente aussi avec la surface utile du piston et le poids des organes frappeurs. Il est évident toutefois que l'on n'accroîtra pas in-

[1] Parmi ces perforatrices mues par l'électricité, je citerai les appareils Atkinson (*Lum. élect.*, XXXI, 55; XLII, 25; XLIX, 14), Ball (*Ibidem*, XIII, 289), Birkin (*Ibidem*, XLV, 304), Bolton (*Ibidem*, XLV, 56), Farman, (*Ibidem*, L, 265), *General electric Company* (*Bull. min.*, 3e, VIII, 83), Mackay (*Ibidem*, XLV, 304; L, 251. — *Bull. min.*, 3e, VIII, 82), Marwin (*Lum. élect.*, XXXV, 573; XLVI, 56), Morgan Gardner (*Ibidem*, LI, 117. — *Electrical World*, 16 septembre 1893), Neu (*CRM*, 1895, 80), Phelps (*Lum. élect.*, XXV, 548), Philipps et Harrison (*Ibidem*, XXX, 51), Rand, Siemens et Halske (*Ibidem*, XLV, 304; XLVI, 59. — *Rev. univ. d. m.*, XVII, 121), Sperry (*Lum. élect.*, XLIX, 216), Taylor (*Ibidem*, L, 119), Thomson-Houston (*Ibidem*, XLVI, 59. — *CRM*, 1894, 79), Threlfall (*Lum. élect.*, XLV, 56), Van Depoele (*Ibidem*, XLVI, 60. — *Rev. univ. d. m.*, XVII, 121. — *Colliery guardian*, 25 janvier 1895), Warner (*Lum. élect.*, LII, 59).

On trouvera également (*Lum. élect.*, XLVI, 68) une liste de perforateurs électriques dressée par M. Gustave Richard. On peut consulter de même : Dieudonné (*Lum. élect.*, XXXVI, 110). — *Génie civil*, XVI, 383. — *Engineering and mining Journal*, New-York, 1890 et 25 mai 1895. — *Écho des mines et de la métallurgie*, 1885, p. 450.

Digitized by Google

définiment l'effet produit en augmentant la force vive de l'outil. Si un choc d'une intensité déterminée désagrège un millimètre de roche, un choc dix fois plus intense ne la désagrégera pas sur une profondeur de 10 millimètres. Pour chaque nature de terrain. l'effet utile d'un coup de fleuret ne peut aller au delà d'une certaine limite, d'autant moins élevée que la roche est plus dure, et si l'on dépasse ce point, la force dépensée en excès devient non seulement inutile mais nuisible par les réactions qu'elle entraîne dans les diverses parties de l'appareil. Comme d'ailleurs la rapidité de forage d'un perforateur ne dépend pas seulement de l'énergie de la percussion, mais aussi de la fréquence des chocs qu'il produit, on voit que de petits coups répétés seront, dans certains cas, plus efficaces que des chocs plus intenses mais plus espacés.

Si la percussion doit être aussi énergique que le permet une bonne utilisation de l'air comprimé, il n'en est pas de même du mouvement de retrait du porte-outil; il faut en effet ménager le cylindre contre lequel vient buter le piston au retour. Cette inégalité s'obtient très simplement (fig. 159) en donnant un grand diamètre à la tige. De cette manière, avec une même section du piston recevant dans toute son étendue la pression destinée à lancer le fleuret, l'action ne s'exerce plus, pour le mouvement de retrait, que sur une couronne de faible largeur. On amortit également le choc du piston contre le cylindre en plaçant au fond de ce dernier, soit un ressort à boudin, soit un petit piston destiné à emprisonner dans une cavité une certaine quantité d'air dont la compression développe l'élasticité.

Quant à la distribution, elle s'obtient en obturant ou démasquant aux instants convenables des orifices pratiqués dans la paroi du cylindre, et mettant en relation successivement ses deux extrémités avec l'air comprimé ou l'atmosphère extérieure. Tant que la face postérieure du piston se trouve en rapport avec le réservoir d'air, elle subit la *pleine pression*; si l'orifice d'admission se ferme sans qu'aucun autre ne s'ouvre, on fonctionne par la *détente* du gaz; si un conduit vient à mettre en communication l'avant et l'arrière du piston, on traverse une période d'*équilibre*; si enfin un orifice s'ouvre vers l'extérieur, l'*échappement* s'opère. Les deux

Digitized by Google

premières phases sont motrices, la troisième prépare le retour, la dernière permet de l'effectuer. La première et la quatrième se retrouvent nécessairement dans tout perforateur; les deux phases intermédiaires plus exceptionnellement.

La distribution est presque toujours effectuée, comme pour les machines à vapeur, à l'aide d'un *tiroir* mobile dans la *boîte à air* et destiné à faire communiquer successivement les deux *lumières* du cylindre avec l'air comprimé ou avec l'échappement. Les mouvements de ce tiroir, qui ont pour but de renverser la distribution au moment où le piston arrive aux extrémités de sa course, doivent lui être transmis par des dispositifs peu compliqués et robustes. Il s'agit en effet d'appareils destinés à fonctionner au milieu des poussières et de l'humidité, et sujets à des chocs nombreux dans leurs manipulations à l'intérieur de la mine. Toutes leurs parties doivent être établies en conséquence. Il est utile en outre que celles qui sont susceptibles de se détériorer fréquemment puissent être facilement remplacées au chantier même par les ouvriers chargés de la conduite de la machine.

Dans certains appareils, tels que les perforateurs Ferroux, Sachs, Ingersoll, etc., le mouvement du tiroir dépend d'une manière directe et immédiate de celui du piston. Il est commandé par des organes que ce dernier, ou sa tige, déplacent en arrivant aux extrémités de leur course. Cette solution présente l'avantage de produire un déplacement rapide du tiroir au moment voulu, en évitant toute perte de temps. Mais les outils basés sur ce principe ont l'inconvénient d'exiger que le piston soit parvenu à fond de course pour que la distribution fonctionne; si, comme cela arrive de temps à autre, le fleuret se coince dans le trou de mine sans pouvoir parvenir jusqu'à l'extrémité, ou si le mécanisme qui produit la progression de l'appareil a fait avancer celui-ci d'une trop grande longueur, le piston porte-outil ne peut achever sa course et amener le tiroir au point où il renversera le mouvement, de manière à ramener le fleuret. Pour la même raison, ces machines ne permettent pas de battre à petits coups au début du forage.

Dans d'autres perforateurs, parmi lesquels se trouve le Dubois-François, le piston ne commande directement le mouvement du

Digitized by Google

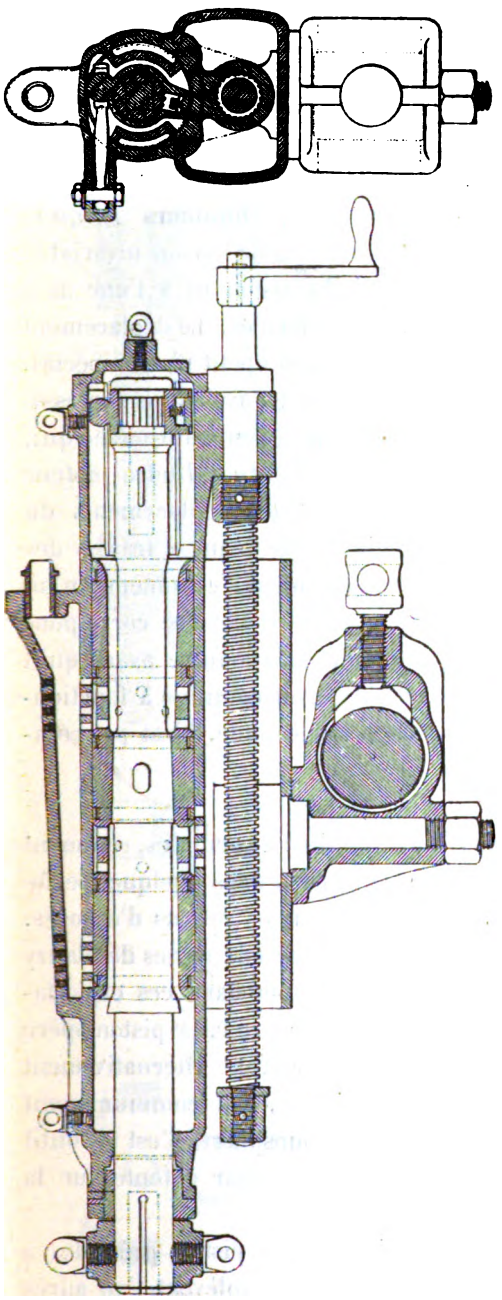


Fig. 157 et 158. — Perforateur Darlington-Blanzy (coupes longitudinale et transversale).

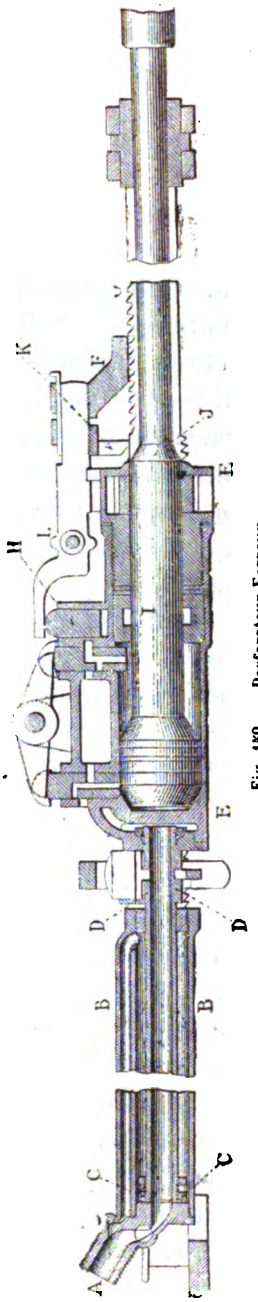


Fig. 159. — Perforateur Ferroux.

Digitized by Google

tiroir qu'à l'extrémité de son retour en arrière; après la projection du fleuret en avant, le déplacement du tiroir ne dépend plus directement du piston, et s'effectue même lorsque celui-ci n'a pu parvenir jusqu'au fond de sa course. On évite ainsi l'inconvénient signalé plus haut.

Enfin dans un troisième type, qui répond au même but que le précédent et auquel appartiennent les perforateurs *Éclipse*, Schramm, Broszmann, Sergeant, etc., il n'y a de liaison invariable entre le mouvement du tiroir et celui du piston ni à l'une ni à l'autre des extrémités de la course de ce dernier. Le déplacement du tiroir est alors en général commandé par un petit piston spécial, sur les deux faces duquel l'air comprimé se trouve admis successivement au moment voulu. C'est le piston porte-outil lui-même qui, dans son mouvement, démasque les orifices du cylindre moteur par lesquels l'air comprimé va produire les déplacements du tiroir; mais l'écoulement de ce fluide s'effectuant à travers des conduites de petit diamètre, chaque mouvement n'est obtenu qu'un certain temps après que le piston a découvert l'orifice correspondant. L'action du porte-outil peut donc se produire avant qu'il soit arrivé au bout de sa course, et l'appareil continue à fonctionner même si celle-ci, pour une raison quelconque, n'est pas complètement achevée.

234 — Nous indiquerons ci-après, à titre d'exemples, comment se trouve réalisé le mouvement de percussion dans quelques perforateurs basés sur les divers principes que nous venons d'exposer.

Le système anglais Darlington, perfectionné aux mines de Blanzy (fig. 157 et 158), mais actuellement abandonné dans ces exploitations, se distingue par l'absence complète de tiroir. Le piston opère seul la distribution, en obturant ou découvrant alternativement des ouvertures pratiquées dans le cylindre, qui communiquent avec l'arrivée d'air comprimé, ou avec l'atmosphère. C'est un outil léger, mais peu puissant, l'air fonctionnant par détente sur la moitié de la course des pistons.

Dans le perforateur Ferroux (fig. 159) le piston présente, à l'avant et à l'arrière, des parties coniques qui soulèvent l'un après

Digitized by Google

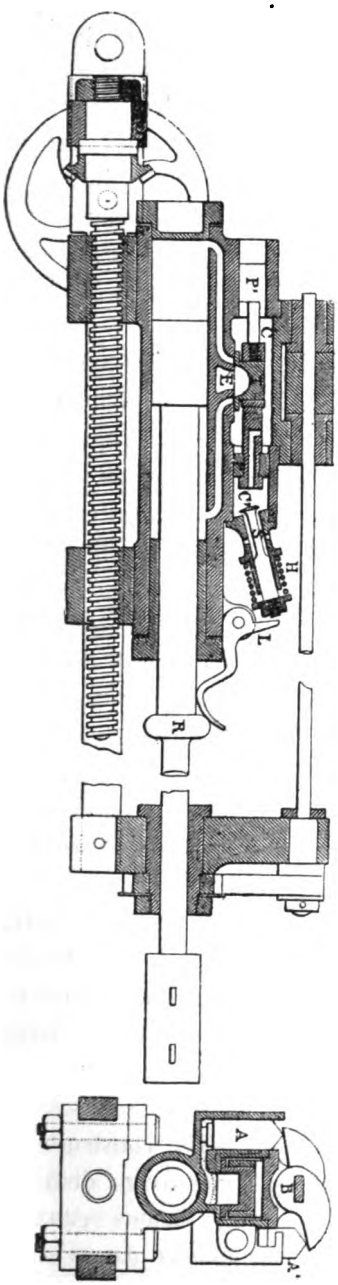


Fig. 160 et 161. — Perforateur Dubois-François (coupes longitudinale et transversale).

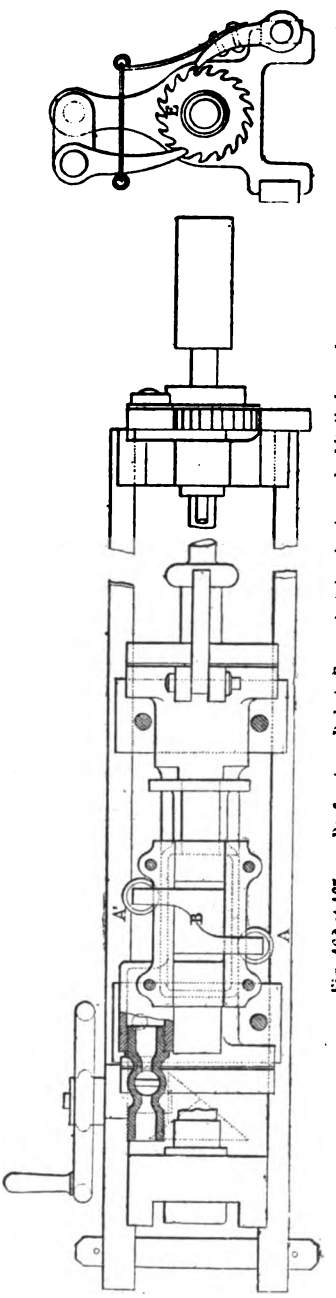


Fig. 162 et 163. — Perforateur Dubois-François (plan horizontal, détail du rochet).

Digitized by Google

l'autre deux petits pistonnets, faisant office de tiroir et rendus solidaires l'un de l'autre par un balancier. Dans la position représentée par le dessin, le pistonnet de gauche déjà soulevé permet l'arrivée de l'air sur la face arrière du cylindre, tandis que celui de droite, qui a été abaissé par l'action du balancier, met en relation avec l'atmosphère la partie antérieure du cylindre. Le piston va être projeté en avant, et renversera la distribution quand il arrivera à l'extrémité de sa course. Celle-ci est sensiblement constante, et égale à $0^m,11$.

235 — Le perforateur Dubois-François (fig. 160 à 163) possède une distribution d'un genre différent, dans laquelle le piston n'agit directement sur le tiroir qu'à la fin du mouvement rétrograde. Le tiroir T porte deux pistons inégaux P et P'. La section du premier étant la plus grande, l'air comprimé, qui se trouve en permanence dans la chambre C, chasse d'abord le système vers la droite, en démasquant la lumière de gauche qui admet le fluide sur la face gauche du porte-outil. Ce mouvement met en même temps la lumière de droite en communication avec l'échappement E. Pendant que le fleuret se porte en avant, l'air de la chambre C filtre à travers le petit conduit pratiqué dans le plus grand des deux pistons, et vient former une contre-pression en C'. Dès lors le piston P se trouvant en équilibre, P' subit seul l'action de l'air comprimé et ramène le tiroir à gauche. Les fonctions des lumières se trouvent interverties, et le porte-fleuret ramené en arrière.

Vers la fin de ce mouvement rétrograde, le renflement R de la tige fait basculer le levier L, qui appuie sur la soupape S, en refoulant le petit ressort en hélice H, destiné à la tenir appliquée contre son siège. La bouffée d'air qui se trouve renfermée dans C' s'échappe alors brusquement, et tout se retrouve à l'état initial.

236 — La perforatrice *Éclipse* (fig. 164 à 167), construite par M. Burton, appartient au dernier type que nous avons distingué plus haut. Le tiroir T est fixé entre deux petits pistons égaux. La pression de l'air comprimé subsiste en permanence dans l'espace qui les sépare, et grâce à de courtes rainures R,R' ménagées dans la

Digitized by Google

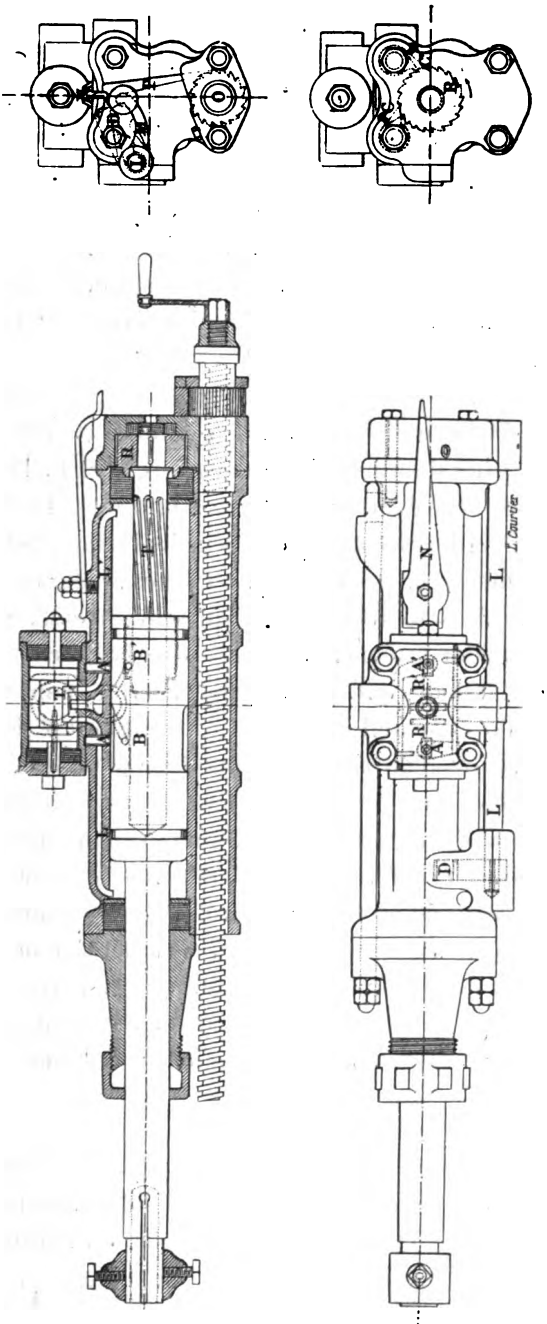


Fig. 164 à 167. — Perforatrice *Éclipse* (coupes et plan.

Digitized by Google

table du tiroir [1], elle peut aussi se transmettre sur l'une ou l'autre des faces extrêmes de ces petits pistons. Dans le cylindre moteur débouchent six orifices concourant à la distribution, savoir : les deux lumières L,L′, les deux conduits B,B′ qui aboutissent dans la conduite d'échappement, et les deux canaux A,A′, dont le premier communique avec l'extrémité *droite* de la boîte de distribution, et le second avec celle de *gauche*. Enfin le piston porte-outil présente dans sa partie médiane un évidement de longueur telle qu'il démasque toujours, soit les deux lumières A et B, soit les deux orifices A′ et B′.

Par suite, dans la position représentée par la figure 164, l'extrémité droite de la boîte de distribution est mise en relation avec l'échappement par l'intermédiaire des canaux A et B. Le tiroir et ses petits pistons vont donc se porter vers la droite. La lumière L communiquant dès lors avec l'air comprimé, ainsi que la lumière L′ avec l'échappement, le porte-outil se déplacera du même côté; puis les mêmes faits se reproduiront en sens inverse, grâce aux canaux A′ et B′, pour ramener ce dernier vers la gauche.

Dans le perforateur qui est désigné sous le nom d'*optimus* et qui dérive de l'appareil Schramm, le piston est double, et sa partie antérieure d'un diamètre supérieur à l'autre. Une fois l'outil projeté en avant, on obtient son retour en arrière sans nouvelle admission, en mettant en communication entre elles les deux extrémités du cylindre; l'air comprimé qui se trouve à la partie postérieure de ce dernier se trouve ainsi confiné dans un espace qui ne peut s'accroître, grâce à la différence de diamètre des deux parties du piston, qu'en forçant l'outil à reculer; c'est donc la détente qui ramène le mécanisme dans sa position initiale, et l'on réalise de cette manière une notable économie de fluide moteur.

237 — Dans les perforateurs mus par l'électricité, l'on a parfois essayé, comme pour le système Siemens et Halske, de produire le va-et-vient à l'aide d'une dynamo dont la rotation, réduite par des

[1] Ces rainures se projettent en plan (fig. 166) sur les canaux A et A′ sous la forme de deux petits rectangles.

Digitized by Google

engrenages, est transformée en mouvement rectiligne alternatif à l'aide d'un excentrique, qui commande deux bielles élastiques reliées aux extrémités du porte-outil. Mais le plus souvent la percussion est basée sur le principe suivant. Le porte-outil est constitué par un piston en fer doux qui se meut à l'intérieur d'une enveloppe en bronze, sur laquelle deux bobines sont enroulées bout à bout. Si l'on fait passer un courant électrique dans l'une de ces dernières, elle attire la masse de fer doux, en vertu de la propriété connue des solénoïdes. Si l'on admet ensuite le courant dans l'autre bobine seule, c'est celle-ci qui attirera à son tour le noyau de fer doux.

Les alternances du passage du courant dans l'un ou l'autre de ces organes peuvent être produites par un commutateur, qui est placé sur la perforatrice et mis en mouvement par le porte-outil aux extrémités de sa course. Pour d'autres appareils, les deux bobines sont réunies par des conducteurs distincts à la génératrice, et c'est celle-ci qui est construite de manière à lancer successivement le courant dans l'une ou dans l'autre. Avec ce dernier dispositif, le nombre des conducteurs reliant les bobines à la génératrice est en général de trois seulement.

D'autres perforatrices ont été construites en interposant une troisième bobine entre les deux autres, laquelle, par un courant continu, aimante toujours dans le même sens le noyau de fer doux. Les deux bobines extrêmes sont alors parcourues par un même courant alternatif, et disposées de manière à agir simultanément sur le noyau mobile pour le repousser ou l'attirer tour à tour. D'ingénieux types de dynamos ont été établis pour réaliser ces divers effets avec une seule génératrice de courant, réunie à la perforatrice par trois conducteurs seulement (Dynamo Van Depoele).

238 — *Mouvement de rotation.* — Le second mouvement imprimé au fleuret doit être une rotation sur lui-même, d'après les motifs déjà indiqués à l'occasion du sondage (N° 67) et du forage (N° 163).

Pour le réaliser on peut, comme dans l'ancien type Dubois-François (fig. 160 à 163), employer une double pompe à air, dont les

Digitized by Google

cylindres A et A′ se trouvent respectivement en communication avec les deux faces du piston moteur. Elles agissent par suite alternativement pour soulever par ses extrémités un basculeur B, et pour faire osciller autour de son axe une tringle longitudinale qui surmonte l'appareil. Cette dernière commande, à la partie antérieure du porte-outil, un encliquetage qui transmet à cette tige les mouvements effectués dans un certain sens, en laissant rétrograder à vide les oscillations de sens contraire.

Mais en général on préfère maintenant l'emploi de rainures hélicoïdales, que l'on dispose d'ailleurs de deux manières différentes.

Avec certains appareils, on pratique sur la partie antérieure de la tige du piston une rainure en hélice, dans laquelle s'engage un ergot faisant corps avec une roue à rochet supportée par le bâti et traversée par la tige. Pendant la course en avant, cette roue peut tourner librement, et le porte-outil avance sans rotation; mais dans le retour, le cliquet appuyant sur les dents de la roue à rochet empêche celle-ci de tourner en sens inverse, et le piston prend un mouvement hélicoïdal [1].

Pour d'autres perforateurs, par exemple dans l'*Éclipse* (fig. 164 à 167), une tige T à cannelures hélicoïdales pénètre par une extrémité dans une cavité, cannelée de même, qui est pratiquée à l'arrière et dans l'axe du piston. Son autre extrémité se termine par une roue à rochet R, munie de deux cliquets C, C′, qui ne lui permettent de tourner que pendant le mouvement de projection. Lors du retrait, les cliquets s'opposent à une rotation inverse de la roue, et c'est alors le piston qui doit tourner pour son propre compte.

Ces derniers systèmes s'appliquent aussi bien aux perforatrices électriques qu'à celles qui sont mues par l'air comprimé.

239 — *Mouvement d'avancement.* — Les dispositifs le plus fréquemment employés pour assurer la progression de l'appareil au fur et à mesure de l'approfondissement du trou sont également indépendants de l'agent mécanique utilisé.

Très souvent on laisse ce mouvement à la disposition du méca-

[1] Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 66.

Digitized by Google

nicien, dont l'attention doit alors être en éveil pour empêcher qu'en raison de l'avancement les courses croissantes du piston porte-fleuret n'arrivent à défoncer le cylindre. Suivant la disposition représentée ci-dessus (fig. 157 et 160) pour les perforatrices Darlington-Blanzy et Dubois-François, l'ouvrier agit au moyen d'une manivelle, sur une vis dont la rotation entraîne l'avancement du corps de pompe.

On a cherché toutefois, pour diminuer la main-d'œuvre, à rendre ce mouvement automatique. Un principe appliqué dans plusieurs appareils (Ingersoll, Sachs, *Éclipse*) consiste à remplacer la manivelle de la vis dont nous venons de parler par une roue munie de dents sur lesquelles un doigt peut agir, pour la faire tourner d'un certain angle, lorsque la course du porte-outil s'allonge outre mesure, et qu'il vient atteindre une came ou un levier, dont le mouvement se trouve transmis à ce pied-de-biche.

C'est ainsi que, dans la perforatrice *Éclipse* (fig. 164 à 167), quand le piston vient repousser la came en biseau D située à la partie antérieure du cylindre moteur et fixée à un arbre longitudinal L, celui-ci transmet le mouvement de rotation qui lui est imprimé au levier M disposé à l'arrière de l'appareil; cet organe soulève à son tour la tige P qu'un puissant ressort N appuie constamment sur la roue à rochet O, montée sur l'axe de la vis d'avancement. Lorsque la came D cesse d'être soulevée par le piston, la tige P, sous l'empire du ressort N, revient s'appuyer sur la roue à rochet, mais cette tige s'est avancée d'une dent, et la roue doit dès lors tourner d'autant.

Pour le perforateur Ferroux, on a réalisé la progression d'une manière différente (fig. 159). L'air comprimé qui arrive par le tube A dans le cylindre fixe B tend constamment à repousser vers le front de taille le piston C, à tige creuse D, qui prolonge à l'arrière le cylindre percutant. Celui-ci ne peut céder à cette tendance à cause du doigt F qui, par l'effet du pistonnet à air comprimé H, est engagé entre les dents du longeron G, découpé en forme de crémaillère et solidaire du cylindre B. Lorsque par l'approfondissement du trou, la course du piston porte-fleuret I s'allonge assez pour que la partie tronconique J vienne rencontrer le heurtoir K,

Digitized by Google

le levier qui porte le doigt F se trouve soulevé. Ce doigt échappant dès lors de la crémaillère, le cylindre percutant E, qu'il maintenait en position, se porte à droite sous la pression subie par le piston C. Mais par suite du recul immédiat du porte-fleuret, qui n'a pu agir sur K qu'en atteignant son point mort, le doigt F retombe de suite et se renclenche dans la dent suivante de la crémaillère. Le fonctionnement normal de la percussion continue dès lors pour cette nouvelle situation, jusqu'à ce qu'une autre progression de l'avancement fasse échapper encore une dent.

240 — Pour terminer la description des divers organes d'un perforateur, il nous reste à dire quelques mots d'appareils qui permettent une injection automatique d'eau au fond du trou pendant le forage (N° 165).

En général, le liquide étant emmagasiné dans un récipient où l'on admet la pression de l'air (fig. 169), on se contente d'en diriger un jet à la lance sur le côté du fleuret pendant la marche, dans le but de nettoyer le trou et de refroidir l'outil. Mais cette manière d'opérer n'a guère d'efficacité pour les trous horizontaux ou montants, ni pour tous ceux qui présentent déjà une certaine profondeur.

Les injecteurs automatiques conduisent le liquide jusqu'à une faible distance du taillant par un canal logé dans le fleuret. Ils

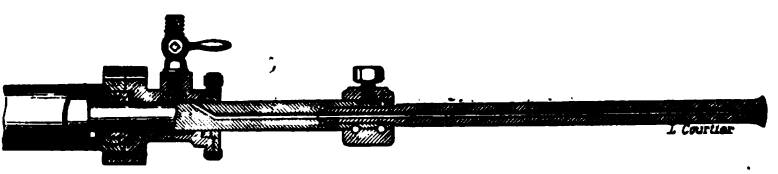


Fig. 168. — Injecteur automatique Bornet.

présentent l'avantage de débarrasser à tout instant le fond du trou des poussières produites par le battage. L'effet utile des chocs est ainsi augmenté, et il en résulte une accélération notable de l'avancement. L'avantage est surtout sensible au moment où l'on emploie des fleurets longs vers la fin du travail de forage, et lorsqu'on travaille dans des roches de nature un peu collante.

Digitized by Google

Ces appareils doivent fonctionner régulièrement malgré le mouvement de rotation du porte-outil ; ils doivent être simples et peu fragiles, comme tous les organes des perforateurs ; il faut enfin qu'ils présentent une complète étanchéité.

Dans certains systèmes, on fait arriver l'eau à la partie antérieure du porte-outil [1] ; M. Bornet a établi un appareil simple qui s'adapte à l'avant du cylindre, dont il remplace le presse-étoupes (fig. 168). Avec d'autres, par exemple dans le système Druge-Blanzy [2], le liquide arrive par l'arrière du cylindre, et traverse tout l'appareil jusqu'au taillant du fleuret.

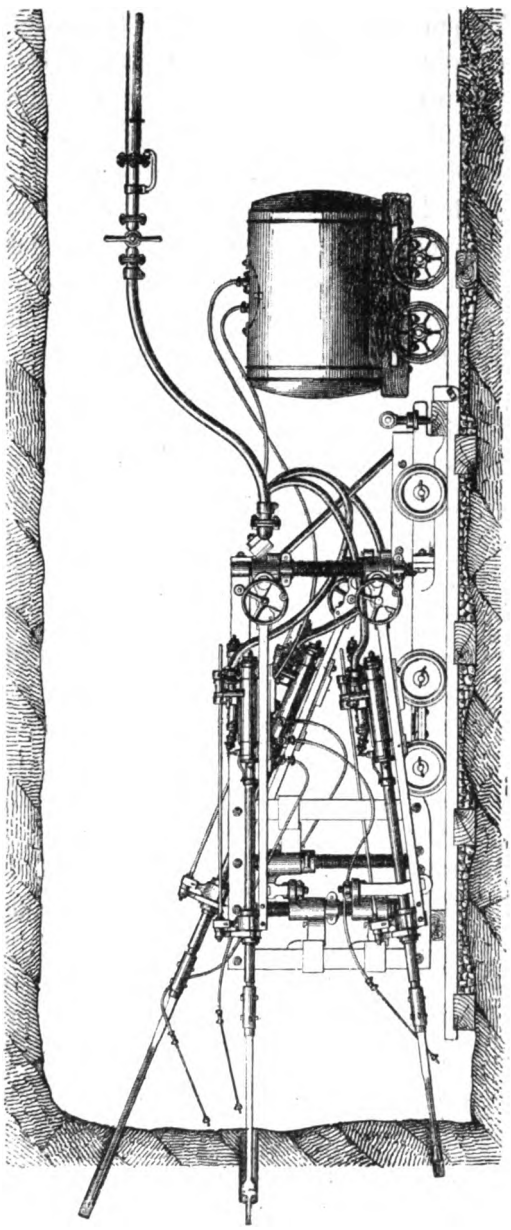


Fig. 169. — Affût Dubois-François pour la perforation horizontale.

(1) *Génie civil*, XVII, 324. — Injecteur automatique Bornet, *CRM*. 1875-77.

(2) *Bull. min.*, 3e, VII, 387.

Digitized by Google

241 — *Affût.* — Pour le travail dans les galeries de mines, les perforateurs sont portés par des affûts établis de telle sorte que l'on puisse forer les trous dans toutes les directions, et en n'importe quel point de la section des galeries.

Pour celles qui sont de dimensions réduites, on emploie d'ordinaire des affûts-colonnes, analogues à ceux qui servent pour les perforatrices à main, en se fixant par pression contre le sol et le toit de la galerie; ils supportent un, ou au plus deux appareils.

Lorsque la section est plus considérable, et atteint par exemple 2 mètres de largeur, on se sert d'affûts roulant sur la voie ferrée de la galerie, pouvant porter quatre perforatrices, et quelquefois davantage (fig. 169). Lorsque tous les trous sont forés, l'affût recule à une distance suffisante, et on le ramène après le sautage et le déblaiement.

Dans la perforation verticale, adaptée au fonçage des puits [1], on voit quelquefois, comme dans les travaux à ciel ouvert, des trépieds à un seul outil, dont chaque pied est chargé d'un poids en fonte. Mais on fait également usage d'affûts portant plusieurs perforatrices (fig. 170). Ils reposent sur le fond du puits, ou sont supportés par des barres arc-boutées contre les parois. Dans ce dernier cas, les vis de serrage contre la roche ont été remplacées quelquefois par une pression hydraulique (système Sulzer). On enlève l'affût à l'aide de la machine d'extraction, lorsque le moment est venu de procéder au tirage.

242 — Le prix d'un perforateur Dubois et François est de 1500 francs [2], et celui de l'affût 4000 francs, non compris les fleurets dont la consommation varie avec la dureté de la roche. L'appareil a $2^m,20$ de longueur; le diamètre du piston est de 85 millimètres, et sa course varie de 5 à 20 centimètres; le rendement utile atteint 0,70 et la vitesse au moment du choc 5 à 6 mètres. Le fleuret donne 200 à 250 coups par minute, à la pression de 4 kil. 1/2.

(1) *CRM*, mars 1876, 1. — *Bull. min.*, 2e, VI, 677. — *Rev. univ. d. m.*, 1868, 298; XXXI, 452; XXXVI, 116 et 170; XXXVIII, 444. — *Œsterr. Zeit.*, XXV, 277. — *Transact. NEI*, 1894.

(2) Un perforateur Ferroux coûte 2000 francs, un perforateur *Éclipse* 950.

Digitized by Google

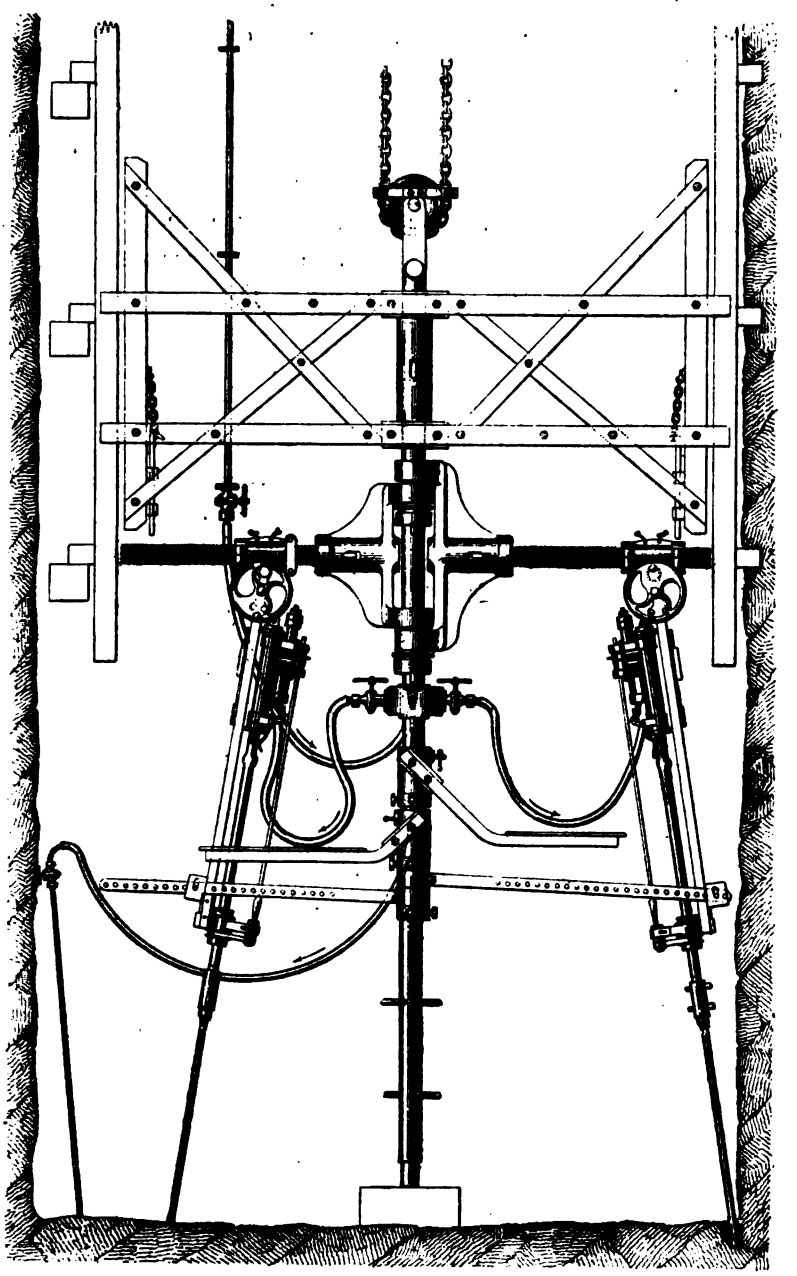


Fig. 170. — Affût Dubois-François pour la perforation verticale.

Digitized by Google

Avec la même tension, le perforateur Ferroux frappe 250 à 300 coups, et l'*Éclipse* 400 à 500. Ce dernier chiffre s'applique également à la plupart des perforatrices électriques.

Le poids est un élément important pour des outils destinés à être maniés et transportés fréquemment, mais la légèreté n'est le plus souvent acquise qu'aux dépens de la puissance ; aussi certains constructeurs établissent-ils, pour un même type de perforateurs, plusieurs modèles de poids différents. Le Dubois-François pèse 220 kilogrammes, le Ferroux 180 ; l'*Éclipse* n° 5 ne pèse que 50 kilogrammes.

§ 3

HAVEUSES MÉCANIQUES

243 — L'application des engins mécaniques au travail du havage est loin de se présenter dans des conditions aussi favorables que celles du forage des trous de mine [1]. Pour que l'emploi de haveuses, en général encombrantes et massives, devienne économique, il faut que la couche soit bien réglée, et autant que possible homogène sur de grandes longueurs. Sauf avec un petit nombre d'appareils plus maniables que les autres, mais répondant à des conditions spéciales, la méthode d'exploitation doit se prêter à l'aménagement de fronts de taille très développés, si l'on veut y installer des chantiers de havage mécanique. Une autre difficulté résulte pour les mines de houille des lits schisteux, ou havrits, que l'on rencontre dans certaines couches ; il est indispensable d'y pratiquer le havage, afin de les enlever avant le charbon et d'éviter qu'ils ne se mélangent aux produits extraits. Les haveuses doivent donc pouvoir se plier à cette exigence, quelle que soit la situation de ces havrits dans la couche.

[1] Petitjean, *Bull. min.*, 2e, VI, 505. — Mathet, *Ibidem*, 3e, II, 112. — Pellé, Les haveuses dans les mines de sel de Roumanie, *Annales*, 8e, X, 288. — Les haveuses dans le district houiller de Saint-Louis, *Annales industrielles*, 31 mars 1889, p. 406. — Les haveuses dans les houillères anglaises, *Engineering and mining Journal*, 26 mars 1892. — Forcheimer, *Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Die Baumaschinen.* 1885. — *Engineering and mining Journal*, 8 juin, 20 juillet et 3 août 1895.

Digitized by Google

Pour ces diverses raisons, ces instruments ne se sont pas propagés en France. Même en Angleterre et en Amérique, où la régularité des gisements permettrait plus souvent leur utilisation, ils sont loin d'avoir pris le même développement que les perforateurs mécaniques. Il y a d'ailleurs à cela un motif d'ordre économique; c'est que la haveuse ne sert qu'au *dépilage* des chantiers, opération pour laquelle le piqueur, placé dans des conditions plus favorables, réalise un rendement plus élevé que pour le percement des galeries auquel sont destinées les perforatrices. En outre la rapidité de l'avancement n'intervient guère dans le premier travail avec le caractère de nécessité absolue qu'elle revêt parfois pour le second.

244 — Les divers systèmes de haveuses qui ont reçu la sanction de la pratique peuvent se diviser en trois catégories.

Dans une première classe, on trouve des appareils différant peu comme principe des perforateurs à percussion qui ont été décrits au paragraphe précédent [1]. Ce sont en réalité des perforateurs pour lesquels tout mouvement automatique de rotation ou de progression est supprimé, et dont on déplace constamment le point d'attaque d'un bout à l'autre du havage à effectuer. Ces machines sont parfois d'un poids assez restreint, comme les haveuses Harrison et Ingersoll-Sergeant. Ces dernières, qui ne pèsent que 250 à 350 kilogrammes, reposent sur deux roues et portent à l'arrière deux poignées que l'ouvrier saisit pour diriger lui-même le fleuret. Dans d'autres cas, l'outil est porté par un affût sur rails, analogue à ceux des perforateurs. A ce dernier type appartient la *bosseyeuse* Dubois et François, dont le système est identique à celui des perforateurs des mêmes inventeurs; on l'utilise à volonté soit pour le

[1] Haveuses Chenot (*Annales industrielles*, 1883, I, 14. — *Lum. élect.*, XIII, 290. — Armengaud, *Public. indust.*, 2e, VIII, 496). — Garrett Marshall (*Portefeuille économique des machines*, 1887, 105). — Harrison (*Bull. min.*, 3e, VIII, 89. — *Annales industrielles*, 1889, I, 406). — Ingersoll-Sergeant (*Bull. min.*, 3e, VIII, 88. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XII, 209. — *Génie civil*, XX, 211. — *Bull. Soc. d'enc.* 4e, X, 1526). — Michales (*Lum. élect.*, XXXVI, 359). — Schram (*Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1877, 203). — Sperry (*Rev. univ. d. m.* 3e, XII, 209. — *Lum. élect.*, XXXII, 182; XLV, 57). — Van Depoele (*Génie civil*, XX. 211). — Yoch (*Annales industrielles*, XXXVI, 359).

Digitized by Google

forage, soit pour le havage, soit, comme nous l'avons dit plus haut (N° 228), pour l'enfoncement des aiguilles infernales; le poids total de cet appareil, affût compris, est de 1 900 kilogrammes.

245 — Une deuxième catégorie comprend des haveuses dont l'outil, unique ou multiple, pénètre dans le front de taille perpendiculairement à sa direction, pour y pratiquer une coupure généralement horizontale, dont la profondeur est égale à celle du havage à effectuer, mais dont la largeur reste limitée et ne dépasse pas en général 1 mètre. L'outil est ensuite retiré et l'appareil déplacé de toute sa largeur; puis une nouvelle coupure est faite à la suite de la première, et ainsi de suite d'un bout à l'autre du chantier (1).

L'outil se compose, dans quelques-uns de ces appareils, d'une série de forets parallèles à mouvement rotatif; dans la haveuse *Hercules*, leur nombre est de treize, leurs taillants sont plus larges que leurs tiges, et, en les disposant légèrement en retraite les uns par rapport aux autres, on a pu obtenir que les treize trous soient contigus, et constituent par leur ensemble une entaille continue. La machine, dite *traceuse*, qui a été employée aux mines de Blanzy (fig. 171 et 172) se composait de cinq forets tubulaires à dents d'acier, faisant 100 à 150 tours par minute, présentant $1^m,30$ de longueur sur $0^m,09$ de diamètre, et distants de $0^m,17$ d'axe en axe. Une fois les cinq trous forés simultanément, on déplaçait cette batterie de $0^m,085$ parallèlement à elle-même, de manière à pouvoir attaquer les entre-deux; on la transportait ensuite d'un espace égal à sa longueur pour effectuer de la même manière une nouvelle entaille. La batterie était portée par un double bâti, permettant de donner au havage toutes les inclinaisons, et supportant un moteur à air à trois cylindres.

(1) Haveuses Boland (*Bull. Soc. d'enc.*, 4e, X, 1322). — Charleton et Walker (*Lum. élec.*, XLIX, 214). — Greenwood (*Ibidem*, XLIX, 214). — Hercules (*Génie civil*, XX, 211; *Rev. univ. d. m.*, 3e, XVII, 121). — Jeffrey (*Bull. min.*, 3e, VIII, 86. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XVII, 121; XVIII, 53; XXVI, 226. — *Génie civil*, XX, 211. — *Lum. élect.*, XXXIV, 216; XLII, 17). — Legg (*Annales industrielles*, 1889, I, 406). — Neuerburg (*Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1877, 167. — Kohler, *Lerhbuch der Bergbaukunde*, 126). — Thomson Houston (*Rev. univ. d. m.*, 3e, XVII, 121). — Traceuse de Blanzy (*Bull. min.*, 2e, VIII, 873. — Mathet, *Etude sur le grisou*, in-4°, lithographie, 101).

Digitized by Google

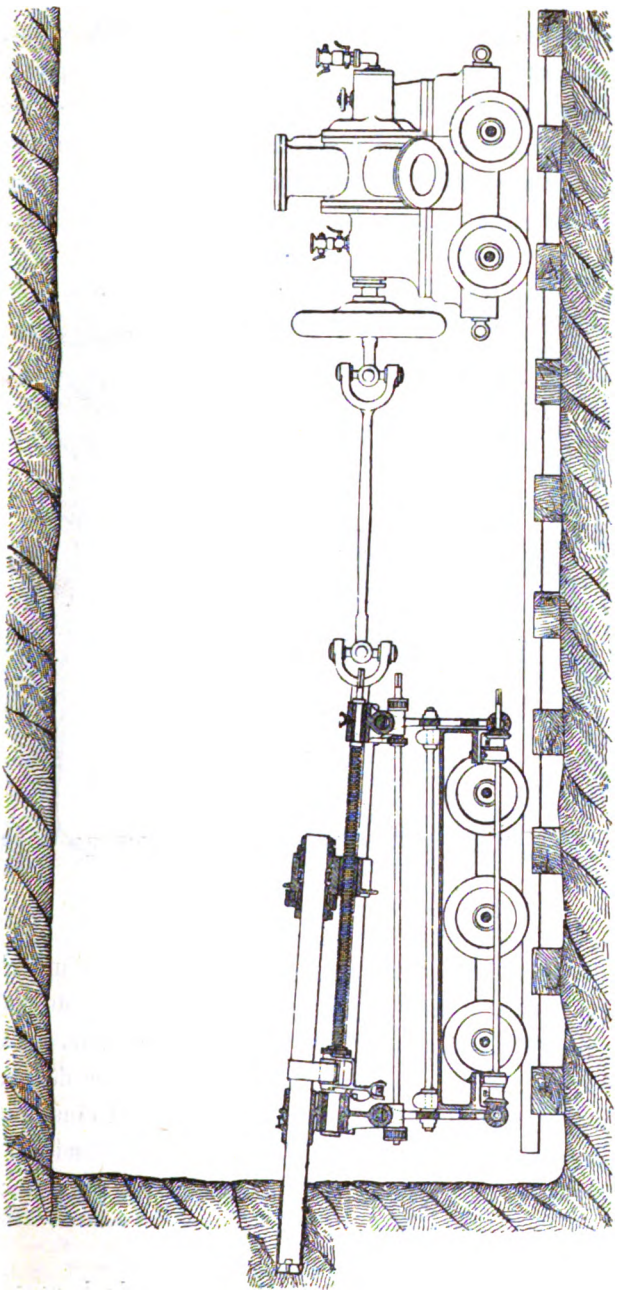


Fig. 171. — Traceuse de Blanzy (coupe longitudinale).

Digitized by Google

Avec d'autres appareils, travaillant également d'une façon discontinue, l'outil haveur est une barre de fer horizontale et parallèle au front de taille, sur laquelle sont implantés en spirale des couteaux en acier. Il pénètre progressivement dans le charbon en tournant sur lui-même. Pour la haveuse Jeffrey employée en Amérique, cette barre fait 200 tours par minute ; elle est supportée par un châssis rectangulaire qui avance à mesure que l'entaille

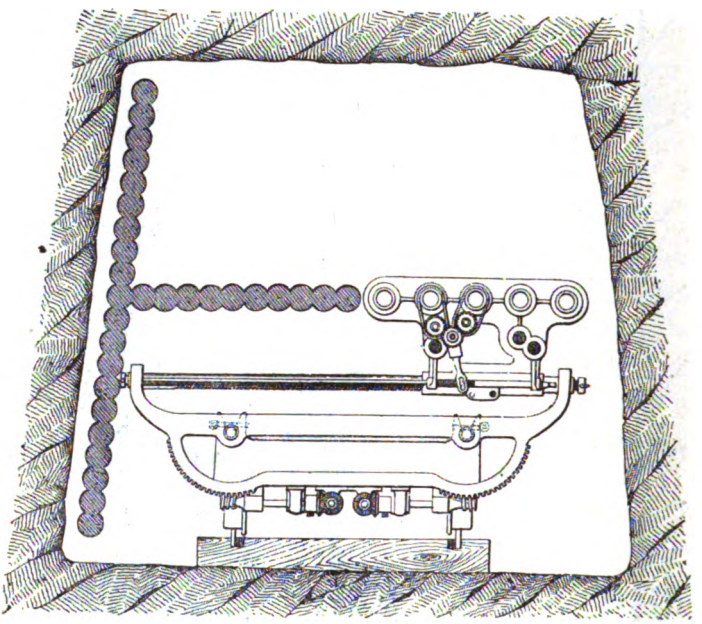


Fig. 172. — Traceuse de Blanzy (coupe transversale).

s'approfondit, et elle reçoit son mouvement de rotation d'une chaîne sans fin qu'actionne le moteur placé à l'autre extrémité du châssis. La rainure produite présente 0m,90 à 1m,10 de longueur, sur 0m,10 d'épaisseur; sa hauteur au-dessus du sol peut varier de 0m,25 à 0m,43 ; dans un charbon de dureté moyenne, il faut cinq minutes environ pour exécuter une saignée de 1m,20 de profondeur. On a parfois remplacé la tige armée de burins par un plateau circulaire tournant, à axe vertical.

246 — Enfin l'on a construit d'autres types de haveuses qui

Digitized by Google

réalisent immédiatement la coupure avec toute la profondeur qu'elle doit avoir, et qui opèrent d'une manière continue en progressant parallèlement au front de taille [1]. Ce système exige que le toit du chantier ne soit soutenu par aucun bois sur toute la largeur occupée par l'appareil. L'outil qui attaque la roche est parfois une barre munie de couteaux analogue à celle de la haveuse Jeffrey, mais pouvant faire saillie en dehors de la machine, normalement au front (haveuse Goolden). Plus souvent c'est une sorte de scie circulaire, ou une chaîne Gall dont les maillons sont garnis de burins en acier et qui se meut autour d'un cadre circulaire ou rectangulaire, la supportant jusqu'au fond de la rainure. M. P. Fayol a construit un appareil dont l'outil est une lame plate munie de dents et recourbée vers son extrémité.

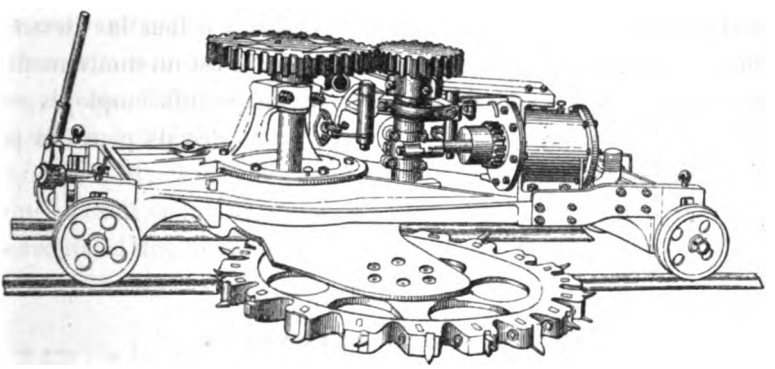


Fig. 173. — Haveuse Winstanley.

Pour donner une idée de l'ensemble de ces appareils, nous prendrons comme type la haveuse Winstanley (fig. 173). Elle se com-

[1] Haveuses Atkinson (*Lum. élect.*, XLIII, 269; XLV, 57). — Baird (*Berggeist*, 1871, 153. — *Dingler's polytechnisches Journal*, 1876, 393). — Blackburn et Mori (*Moniteur industriel*, 5 septembre 1889; Écho des Mines et de la Métallurgie, 1889). — Bower (*Rev. univ. d. m.*, 3e, VI, 211. — *Moniteur industriel*, 7 février 1889). — Carr (*Engineering*, 17 septembre 1895). — P. Fayol (*Bull. min.*, 3e, II, 125. — *CRM*, 1889, 171. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XII, 209). — Goolden (*Rev. univ. d. m.*, 3e, XVII, 206. — *Lum. élect.*, XLII, 27). — Hirst (*Lum. élect.*, L, 117). — Keil et Westerdall (*Ibidem*, XLV, 57). — Pflamm et Tennet (*Lum. élec.*, XIII, 290). — Stanek et Reska (*Annales*, 8e, X, 288. — *Œsterr. Zeit.*, 1877, 277). — Taverdon (*Bull. min.*, 2e, VIII, 302. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XII, 209). — Thomson Houston (*Ibidem*, 3e, XVII, 121). — Winstanley (*Bull. min.*, 3e, II, 119. — *Génie civil*, XVII, 324. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XII, 209).

Digitized by Google

pose d'un chariot monté sur rails, et se halant lui-même sur un point fixe au moyen d'une chaîne amarrée qui s'enroule autour d'un axe vertical du véhicule, à mouvement ralenti par des engrenages. Deux petits cylindres oscillants, couplés à angle droit, attaquent un arbre moteur qui commande, au moyen de roues dentées, la scie horizontale placée sous le bâti. Cet organe fait de 25 à 40 tours par minute, avec une vitesse à la circonférence qui varie de $1^m,50$ à $2^m,35$. La puissance du moteur nécessaire pour actionner cette haveuse est de 10 à 15 chevaux.

247 — Les machines qui conduisent les haveuses mécaniques sont mues tantôt par l'air comprimé, tantôt par l'électricité (1). En général, il ne s'agit que d'imprimer à l'outil un mouvement de rotation, et on y parvient, soit à l'aide de cylindres moteurs à air, soit à l'aide de dynamos, en réduisant s'il y a lieu la vitesse au moyen d'engrenages. Lorsque, au contraire, c'est un mouvement de percussion qu'il s'agit de réaliser, les dispositifs employés sont tout à fait analogues à ceux que nous avons décrits pour les perforateurs percutants (2).

§ 4

MACHINES A TUNNELS

248 — M. de Preigne a mis en avant (3) l'idée de préparer, au moyen d'un excavateur, le forage d'une galerie de mines en opérant d'un seul coup sur toute sa section, que l'on doit pour cela supposer circulaire. Son appareil était destiné à pratiquer une rainure

(1) En outre des sources déjà mentionnées, on peut consulter à ce sujet un article étendu de M. Dieudonné sur les haveuses électriques (*Lum. élect.*, XXXVI, 110) et une nombreuse nomenclature de M. Gustave Richard (*Ibidem*, XLVII, 68).

(2) On peut citer encore dans ces divers types les haveuses Balzberg, Benson, Birkenshaw, Booth, Braconnier, Chabb, Clapp, Donisthorpe, Dumas et Delahaye, *Économique*, Farrar, Firth, Gillot et Copley, Grafton et Ridley, Hurd, Jenkins, Johnston et Dixon, Jones et Lewick, Kirkley, Leroy, Lochner, Locke et Warington, Meeckle, Payton et Holine, Rolland, Rothery, Simson, Sturgeon, Trier, Turley, Weston, Wincqz, etc.

(3) Ponson, *Suppl. au traité de l'expl. des mines de houille*, I, 140. — *Rev. univ. d. m.*, 1860, VII, 509.

Digitized by Google

de 10 centimètres d'épaisseur sur la périphérie de la galerie, et en même temps un fort trou de mine dans le centre. L'excavateur une fois retiré à distance suffisante, l'explosion de ce fourneau central devait détruire le stross annulaire.

Ce projet ne paraît pas avoir été réalisé. Mais un système analogue, dû à MM. Talbot et Wilson, a fonctionné en Amérique (1). Il était composé de vingt fraises valseuses attaquant la roche dans l'épaisseur de la rainure à creuser.

Des appareils de cette nature, qui supposent l'emploi des explosifs, présentent évidemment l'inconvénient d'avoir fréquemment à reculer pour le tirage, ce qui exclut d'une manière absolue l'emploi de tout revêtement, même provisoire, sous peine d'être obligé de les démonter et remonter à chaque opération. Lors même que le terrain permettrait de se dispenser de revêtement, la machine pourrait se trouver coincée par le moindre tassement des parois.

Des défauts aussi graves devaient faire absolument condamner ce principe. Mais on y peut trouver le germe de l'invention des machines à tunnels, attaquant la roche sur toute la surface du front de taille, sans que l'on ait recours à l'usage des coups de mine. L'outil ne fait plus alors qu'avancer, sans avoir jamais besoin de reculer d'une quantité importante, et le soutènement peut suivre au fur et à mesure.

249 — La perforatrice Penrice a été l'une des premières proposées pour agir sur toute la section à la fois (2). Cet appareil a fonctionné en Angleterre et dans les carrières de Vaugirard; il semble d'ailleurs avoir disparu.

L'excavateur Brunton (3) procède à l'attaque d'un front de taille circulaire, de $2^{m},20$ de diamètre, au moyen d'un véritable guillo-

(1) F. Lambert, *Voyage dans l'Amérique du Nord*; — Ponson, *Supplément*, I, 135.— Devillez, *Des travaux de percement du tunnel sous les Alpes*, Liège, 1863, 226.

(2) *Bull. min.*, 1re, XIV. — *Rev. univ. d. m.*, 1873, 407. — *Polytech. central Blatt*, Leipzig, 1869, 777. — *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1870, 28. — *Engineering*, 1868, 141. — *CRM*, 1880, 43.

(3) *Génie civil*, III, 593. — *Revue industrielle*, 1880, 394. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCI, 525 et 830. — *Rev. univ. d. m.*, 2e, V, 236. — *Mining Journal*, 1871, 71. — *Engineer*, 1871, XXXI, 198. — Forchheimer, *Tunnelbohrmaschinen*, Leipzig, 1885, 387.

Digitized by Google

chage effectué par des couteaux qui sont montés sur des pignons valseurs. On a obtenu $0^m,15$ d'avancement par heure de travail effectif dans les calcaires de Gardanne (Bouches-du-Rhône) avec une force de 13 chevaux, reconnue d'ailleurs insuffisante pour faire produire au système tout son effet utile.

La machine Crampton [1], qui a été employée au tunnel de la Mersey, à Liverpool, travaille d'une manière analogue, en réduisant la roche en parcelles très fines à l'aide d'un grand nombre de couteaux tournants portés par un disque d'un diamètre égal à celui de la galerie. Le moteur est hydraulique, et les déblais réduits en bouillie sont enlevés par l'eau d'échappement de la machine, qui les entraîne dans une conduite jusqu'à une grande distance en arrière. La vitesse d'avancement réalisée par heure au tunnel de la Mersey dans la craie grise a été de $0^m,0008$ par tour complet de l'appareil.

250 — La machine du colonel Beaumont [2], avec laquelle on a effectué le percement de la galerie préparatoire du tunnel sous-marin entre la France et l'Angleterre, consiste essentiellement (fig. 174) en un arbre horizontal terminé en forme de T par une pièce présentant le diamètre de l'ouvrage. Cette dernière porte des ciseaux d'entaillement qui attaquent le front de taille suivant des cercles concentriques. Les fragments tombent dans une chaîne à godets qui passe sous le chariot, et vient à l'arrière verser les déblais dans les wagonnets. L'arbre moteur est actionné par deux cylindres à air comprimé, mais la connexion n'est pas entièrement solide ; elle a lieu par la pression même, et permet un débrayage spontané s'il se présente un obstacle trop dur.

Quant au mouvement de progression de l'appareil Beaumont, il est très ingénieux et constitue une véritable reptation. Le bâti se

(1) *Mémoires des ingénieurs civils*, 1882, II, 380. — *Nature*, 1883, I, 133. — *Annales industrielles*, 1885, II, 279. — *Engineer*, 1882, LIV, 255. — Forchheimer, *Tunnelbohrmaschinen*, Leipzig, 1885, 395. — *Engineering*, novembre 1885, 443.

(2) *Génie civil*, II, 352 et III, 595. — *Revue générale des chemins de fer*, V, 226. — *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, XCIV, 1707. — Exposition de 1889, *Notice sur les documents exposés par le ministère des travaux publics*, 802. — *Engineering*, 1885, II, 445.

Digitized by Google

compose de deux cylindres concentriques présentant la courbure de la galerie et pouvant glisser l'un par rapport à l'autre suivant ses génératrices. Le cylindre extérieur reposant à terre, l'outil s'avance avec le cylindre intérieur, au fur et à mesure de la destruction de la roche, sous l'influence de la pression qu'il subit à l'arrière. Quand il est arrivé à la limite de son excursion, l'on arrête la rotation, l'on soulève l'appareil sur des crics, et c'est alors le berceau inférieur qui, en parcourant à son tour cette même longueur, rejoint la machine maintenue immobile. On repose alors celle-ci à terre en soulageant les crics, et l'on recommence une nouvelle travée.

Les cylindres de la machine employée dans la galerie du tunnel sous la Manche avaient $0^m,30$ de diamètre et $0^m,45$ de course; la pression était de 2 atmosphères, mais aurait pu être portée à 8. L'outil faisait un tour et demi par minute. L'excursion longitudinale du bâti atteignait $1^m,37$ et la vitesse de la chaîne à godets $0^m,50$ par seconde. Le diamètre de la galerie était de $2^m,06$.

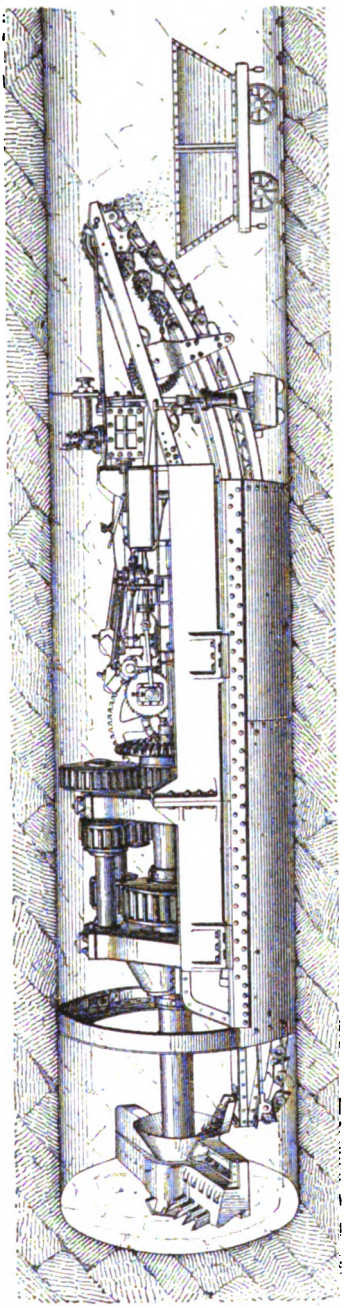


Fig. 174. — Machine à tunnels Beaumont.

Digitized by Google

Celle-ci a été arrêtée le 18 mars 1883, après un développement de 1840 mètres. Elle était établie dans une couche de la craie de Rouen, de faible consistance et très homogène. Pendant les 53 derniers jours de marche, l'avancement journalier moyen avait été de 15m,40; on a réalisé un instant le maximum de 24m,80.

Il y a lieu de signaler l'analogie de cette transformation du forage des trous de mine à la tarière (N° 158) en un percement de galerie à section entière, avec celle qui a conduit progressivement des plus étroits sondages de recherche au fonçage direct des puits de mines au moyen de la sonde.

§ 5

RÉSULTATS ÉCONOMIQUES

251 — La perforation mécanique présente une supériorité incontestable sur le travail à la main sous le rapport de la vitesse. A cet égard, son emploi procure toujours une accélération marquée; la différence est d'autant importante que les roches sont plus dures. L'avancement, presque toujours doublé, a été parfois quadruplé. On a même obtenu à un certain moment, dans les travaux d'approche de Comberedonde (Gard), le rapport de vitesses 7,88.

Cet avantage réagit *indirectement* sur le point de vue économique d'une manière avantageuse, en permettant de mettre plus tôt en valeur certains quartiers, grâce à l'achèvement rapide des galeries de roulage ou d'aérage qui doivent les relier aux voies existantes. Quant à l'effet exercé *directement* sur le prix de revient, il est loin d'être aussi net. On peut admettre que, d'une manière générale, la perforation mécanique n'est pas économique dans les roches relativement tendres, telles que les schistes; pour les terrains durs au contraire, comme les grès compacts, elle est sensiblement moins coûteuse que la main-d'œuvre ordinaire.

Il est évident que si par irréflexion l'on surchargeait une faible exploitation de la dépense relativement importante que nécessite l'établissement de l'outillage à l'air comprimé, on irait volontaire-

Digitized by Google

ment au-devant d'un échec. Ces installations sont en effet coûteuses : elles atteignent, suivant la consistance de la mine, 40 ou 50 et jusqu'à 100 ou 150 000 francs[1].

En écartant même une erreur de ce genre, certaines causes permanentes peuvent contribuer à un accroissement de la dépense. La consommation d'explosifs se trouve en général augmentée. Les frais de production de l'air comprimé viennent s'ajouter aux dépenses de l'abatage à la main. Le mode de compression de l'air exercera d'ailleurs une influence importante sur le point de vue économique : on réduit notablement le prix de revient du mètre de galerie en effectuant, comme à Vialas, la compression à l'aide d'une chute d'eau. Si inversement on supposait des mines métalliques écartées des bassins houillers et du réseau des chemins de fer, dans lesquelles il fallût se procurer du charbon par charrettes, le résultat serait diamétralement contraire.

On se trouve aussi entraîné quelquefois à donner aux galeries, pour permettre l'installation des appareils mécaniques, une section plus grande qu'il n'eût été sans cela nécessaire; mais c'est là une cause de majoration des dépenses à laquelle on peut chercher à remédier par un choix judicieux des types de perforateur et d'affût employés.

L'entretien des appareils est coûteux. Si par surcroît ils ne sont pas aussi simples et aussi robustes que possible, ce défaut influera dans une large mesure sur le prix de revient.

Enfin l'on a remarqué dans certains cas que l'ébranlement des parois, plus profond qu'avec le mode ordinaire, rendait au bout d'un certain temps les réparations de galeries plus dispendieuses.

Inversement un élément important du prix de revient est fréquemment atténué par la perforation mécanique; ce sont les dépenses de main-d'œuvre payées aux ouvriers, dont la diminution devient une conséquence de l'accélération de l'avancement. Le prix

(1) M. François l'évalue à 2 000 francs par force de cheval utile (Burat, *Suppl. au Cours d'expl. des mines*, 1874, 14). M. Devillez va même jusqu'à 3 500 francs pour une transmission de 500 mètres (*Trav. du percement du tunnel sous les Alpes*, 201), et M. Pernolet à 5 000 francs pour une distance de 1000 mètres, y compris les constructions (*l'Air comprimé*, 565).

Digitized by Google

payé aux mineurs par mètre courant augmente toujours, il est vrai, avec la dureté des terrains; mais il croît moins rapidement quand on fait usage d'appareils mécaniques, et c'est ainsi que l'économie réalisée sur la main-d'œuvre arrive à compenser et même à dépasser, pour les terrains durs, les dépenses supplémentaires faites sur d'autres articles.

La comparaison des deux modes de travail sera rendue plus sensible par le tableau suivant[1], qui exprime en francs le prix de revient du mètre d'avancement. L'extrême discordance de ces chiffres n'a rien qui doive surprendre; en ce qui concerne les valeurs absolues des deuxièmes et troisièmes colonnes, elle tient en partie à la dureté variable des roches, en partie à des différences de section des galeries; mais on peut admettre que cette dernière influence disparaît dans leur rapport, pour lequel celle de la roche reste seule en évidence.

MINES	PERFORATION		RAPPORT
	MÉCANIQUE	A LA MAIN	
	francs	francs	
Vieille-Montagne (fosse Périer et Lehon)	200,73	285,39	0,61
Nœux (dans les grès)	90,25	133,40	0,67
Bézenet	258,73	292,30	0,88
Nœux (dans les schistes)	67,50	64,25	1,05
Trélys (galerie Saint-Hippolyte)	166,07	84,31	1,97
Bessèges	131,25	59,79	2,20
Anzin (fosse Léonard)	175,69	35,50	4,95

Les exemples réunis dans le tableau ci-après montrent comment se décompose le prix de revient de la perforation mécanique.

[1] Dressé, ainsi que le second, d'après quelques documents inédits, et d'après les publications suivantes faites par diverses compagnies minières : Nœux, *Bulletin de la Société des anciens élèves des Écoles d'arts et métiers*, septembre 1878. — Bézenet, *CRM*, août 1877, 7. — Trélys, *Ibidem*, 1879, 77. — Bessèges, *Ibidem*, mai 1877, 20. — Liévin, *Notice pour l'Exposition de* 1889, 53. — Voir en outre : *Mémoire du département fédéral* sur le tunnel du mont Saint-Gothard, 2e livraison, 88; Sauvage, *Annales*, 7e, VII, 451; *CRM*, 1895, 193.

Digitized by Google

DÉPENSES	TRÉLYS — MOYENNE de 2867m	BESSÈGES	LIÉVIN — MOYENNE de 719m	LENS — MOYENNE de 6816m	VIALAS — MOYENNE de 335m
	francs	francs	francs	francs	francs
Compression de l'air	20,27	24,28	7,06	5,52	2,83
Main-d'œuvre à l'avancement.	54,42	30,74	24,60	33,57	22,58
Entretien des perforateurs. .	30,20	19,23	20,65	3,02	5,46
Entretien des fleurets. . . .	9,35	7,46	4,69	1,62	
Explosifs.	51,83	49,54	63,84	41.53	50,26
TOTAL.	166,07	131,25	120,84	85,26	81,40

252 — La vitesse et la dépense constituent les points de vue les plus essentiels, mais non les seuls qu'il y ait lieu de considérer. Les deux tableaux suivants(1) pourront renseigner en ce qui concerne les divers éléments de l'opération.

Le premier (page 286) contient des valeurs *moyennes*, relatives aux galeries de mine, aux tunnels à grande section et au fonçage des puits, ces trois conditions du travail souterrain ne pouvant être confondues ensemble.

Mais en même temps, comme les moyennes ont l'inconvénient de brouiller d'une manière confuse les résultats dus à des influences très diverses, nous avons ajouté, pour présenter des types *réels*, le tableau de la page 287. Le premier exemple est relatif à des matières tendres(2), le second à des roches franchement dures(3). Le rapport des prix de revient à la machine ou à la main passe alors de 4,95 à 0,61 ; circonstance bien propre à mettre en évidence l'influence de la dureté.

Nous avons pris un troisième exemple (4) relatif à un tunnel, pour caractériser l'influence des grandes sections(5).

(1) Dressés à l'aide des renseignements réunis par M. Pernolet dans l'agenda Dunod pour les mines.

(2) Anzin, fosse Léonard : grès tendre à gros grains, section trapézoïdale à angles arrondis.

(3) Vieille-Montagne, fosse Périer et Lehon; grauwacke schisteuse quartzifère très compacte, section rectangulaire à angles arrondis.

(4) Saint-Gothard, granite et gneiss homogènes; section rectangulaire avec couronne légèrement arquée.

(5) Au tunnel de l'Arlberg, on a avancé en 1882 à raison de 3m,592 par jour sur une face et 4m,805 sur l'autre (*Annales*, 8e, I, 597).

Digitized by Google

NDICATIONS	UNITÉS	MOYENNES					
		GALERIES		TUNNELS		PUITS	
		Ouvrier	Perforatrice	Ouvrier	Perforatrice	Ouvrier	Perforatrice
Nombre d'exemples employés pour la moyenne. . .	»	8	8	3	3	2	1
Proportion de roche dure.	»	0,470	0,333	0,870	0 870	0,420	0,340
Section de l'ouvrage.	Mèt. carrés	4,000	4,220	7,270	7,010	10,620	16,710
Prix moyen de la journée de l'ouvrier.	Francs	3,370	2,800	»	3,750	3,710	3,550
Nombre d'ouvriers du poste	»	3,330	4,000	11,000	26,000	6,000	4,660
Avancement journalier { moyen.	Mètres	0,392	1,228	0,595	2,558	0,189	0,212
Avancement journalier { maximum	Mètres	0,527	1 561	0,780	4,500	0,208	0 230
Avancement par mètre de trou foré.	Mètres	0,078	0,046	0,044	0,028	»	0 026
Durée par mètre de trou foré.	Heures et min.	3,34	1 29	»	1,47	5,25	0,45
Nombre de trous { pour 1 mètre d'avancement. . .	»	30,000	21,700	30,000	37,666	»	150,000
Nombre de trous { pour 1 mètre carré de section .	»	1,840	3,224	0,800	5,130	»	6,200
Profondeur moyenne des trous.	Mètres	0,470	1,187	0,750	1,075	0,440	0,550
Longueur forée { par mètre courant.	Mètres	14,100	23,450	22.500	21,220	»	64,000
Longueur forée { par mètre cube	Mètres	3,170	4,926	3,000	5,680	»	5,840
Poids d'explosif { par mètre courant.	Kilogrammes	4,750	10,170	»	31,139	9,600	»
Poids d'explosif { par mètre cube	Kilogrammes	1,240	1,560	»	4,400	0,600	»
Prix de revient { par mètre courant.	Francs	73,400	103,940	301,000	511,200	397,640	414,210
Prix de revient { par mètre cube	Francs	23,400	24,340	38,200	68,350	24,320	24,790

Digitized by Google

INDICATIONS	UNITÉS	EXEMPLES SPÉCIAUX					
		GALERIE D'ANZIN (*fosse Léonard*)		GALERIE VIEILLE-MONTAGNE (*fosse Périer et Lehon*)		TUNNEL DU ST-GOTHARD (*côté de Gœschenen*)	
		Ouvrier	Perforatrice	Ouvrier	Perforatrice	Ouvrier	Perforatrice
Proportion de roche dure	»	0	0	1,000	1,000	1,000	1,000
Section de l'ouvrage	Mèt. carrés	3,500	3,500	5,000	5,000	7,500	6,750
Prix moyen de la journée de l'ouvrier	Francs	2,320	3,000	2,270	3,070	»	3,750
Nombre d'ouvriers du poste	»	2	2	4	5	6	18
Avancement journalier moyen	Mètres	0,506	0,615	0,176	0,331	0,530	3,770
Avancement journalier maximum	Mètres	»	»	0,225	0,650	0,900	6,100
Avancement par mètre de trou foré	Mètres	0,069	0,069	0,068	0,049	0,044	0,035
Durée par mètre de trou foré	Heures et min.	1,47	1,23	7,30	1,14	»	2,18
Nombre de trous pour 1 mètre d'avancement	»	27,600	23,500	37,000	29,000	30,000	26,000
Nombre de trous pour 1 mètre carré de section	»	1,710	1,420	1 300	2,200	0,800	3,850
Profondeur moyenne des trous	Mètres	0,523	0,613	0,400	0,700	0,750	1,100
Longueur forée par mètre courant	Mètres	14,400	14,400	14,800	20,250	22,500	28,600
Longueur forée par mètre cube	Mètres	4,120	4,130	2,950	4,050	3,000	4,220
Poids d'explosif par mètre courant	Kilogrammes	5,250	3,970	5,750	5,400	»	24,000
Poids d'explosif par mètre cube	Kilogrammes	1,500	1,140	1,250	1,080	»	3,560
Prix de revient par mètre courant	Francs	35,500	175,690	285,390	200,730	»	284,900
Prix de revient par mètre cube	Francs	10,000	50,480	56,980	39,640	»	42,200

Digitized by Google

Digitized by Google

TROISIÈME PARTIE

PUITS ET GALERIES

CHAPITRE IX

BOISAGE

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LE SOUTÈNEMENT

253 — *Puits et galeries.* — Nous avons consacré la seconde partie de ce Cours à faire connaître avec détail les ressources si variées dont dispose le mineur pour attaquer le massif. Mais de ce problème sommaire, qui consiste à dépecer quelques mètres cubes, on ne saurait passer directement à celui de l'enlèvement complet du gite, c'est-à-dire à la méthode d'exploitation. Un intermédiaire est nécessaire. Il concerne la constitution des organes essentiels dont doit être armée une mine, pour qu'une aussi vaste opération puisse s'y développer avec ordre, et que le fonctionnement régulier de tous les services qui concourent à cette même fin, s'opère sans trouble et sans confusion.

Ce que nous appelons en ce moment un *organe*, en assimilant la mine à un corps organisé dans lequel des centres et des vaisseaux spéciaux président aux diverses fonctions, consiste essentiellement en un *vide* spécial, doté du *matériel* nécessaire pour y effectuer un

Digitized by Google

transport déterminé. Comme d'ailleurs nous avons averti dès le début que tout ce qui est relatif aux transports ne serait, pour plus de clarté, envisagé que plus tard, après ce qui concerne l'attaque du gîte, nous ne parlerons en ce moment que de la production et de la conservation de cette cavité.

254 — Un terrain quelconque se prête ordinairement à ce que l'on y pratique un certain degré de vide, c'est-à-dire ce qu'on appelle une *excavation*. Sa *solidité* détermine la limite, variable d'une roche à l'autre, que l'on ne saurait dépasser sans provoquer l'éboulement. Cette limite, pour certaines matières, est parfois extrêmement reculée. On voit des chambres de dissolution du Salzkammergut (N° 439) se tenir avec un plafond plat, et sans aucun support, sur une étendue de trois mille mètres carrés. Les ardoisières souterraines d'Angers (N° 428) présentent des excavations de 30 mètres de largeur sur 70 mètres de longueur et 110 mètres de hauteur. Héron de Villefosse a vu, au commencement de ce siècle, dans la saline de Wieliczka (Pologne russe), une cavité appelée Kamara Klosky, de 60 mètres de diamètre et 114 mètres de haut [1]. On a de même exploité de 1674 à 1766, dans les mines de sel de Marmaros (Hongrie), une chambre qui atteignit les dimensions horizontales de 52 mètres sur 62 mètres, avec une hauteur sous clef de 120 mètres, dont 92 sont aujourd'hui remplis d'eau (N° 437); ainsi qu'une autre de 147 mètres d'élévation et de 47 mètres de diamètre, dans laquelle tiendraient les hauteurs superposées du Panthéon et de l'église Notre-Dame de Paris.

La nature, de son côté, nous présente souvent des vides gigantesques. Pour n'en citer qu'un seul exemple, on voit au Kentucky les grottes du Mammouth qui présentent 40 kilomètres de développement. Sur un point spécial de cette excavation, le *dôme géant* recouvre un espace immense avec une hauteur supérieure à 130 mètres [2].

[1] *Atlas de la richesse minérale*, II, 392.

[2] La *Salle du dôme* de la grotte de Han, dans le pays wallon, a 129 mètres de haut sur 185 de large et 260 de long (*Le Figaro*, 3 juillet 1890, p. 2, col. 2).

Citons encore, en fait de curiosités naturelles, le *tunnel de Stock creek* au Kentucky,

Digitized by Google

A l'autre extrémité de l'échelle de solidité, nous trouvons les terrains appelés *inconsistants* ou *ébouleux*, qui n'admettent que des cavités de très faibles dimensions, souvent même inférieures au volume du corps de l'homme; et enfin les terrains *coulants* et *aquifères* qui ne comportent plus aucun degré de vide. Cette circonstance ne sera cependant pas pour le mineur un obstacle insurmontable, si un but suffisamment important assure une rémunération proportionnée aux efforts et aux dépenses que nécessitent de tels percements. Mais ils forment alors l'objet de méthodes toutes spéciales, que nous aurons à faire connaître (N° 313).

255 — En même temps que le volume de l'excavation, il en faut discuter la forme.

Tout espace présente trois dimensions. Si toutes les trois peuvent croître outre mesure, nous arrivons à ces vides exorbitants dont je viens de citer quelques exemples à titre de curiosité, mais dont l'emploi ne saurait jamais être justifié que par des circonstances absolument exceptionnelles.

On doit, dans les conditions normales, concevoir que l'une au moins des dimensions reste étroitement limitée, tout en laissant encore les deux autres croître à volonté. L'excavation s'étend alors, non plus à proprement parler *en volume*, mais *en superficie*, en conservant partout, perpendiculairement à son plan, une épaisseur définie et restreinte. C'est ce que nous nommerons le *chantier* ou la *taille*, qui sert à effectuer l'enlèvement du gîte. Non pas, bien entendu, que tout chantier soit ainsi indéfiniment étendu en surface. La plupart du temps, au contraire, nous serons conduits à le réduire dans deux sens au lieu d'un, et même dans tous les sens à la fois. Mais du moins rencontre-t-on ce caractère dans certaines méthodes (N°s 464, 500), et nous pouvons sans inconvénient, en ce moment, nous le représenter sous cet aspect.

Dans d'autres cas, ce ne sera plus seulement l'une des trois

creusé par l'action des eaux sans l'intervention de l'homme sur 275 mètres de long et 33 mètres de hauteur au-dessus du plan d'eau. On se préoccupe d'y faire passer un chemin de fer (*Génie civil*, X, 120).

L'ouvrage de M. Martel intitulé *Les Abîmes* fait connaître un très grand nombre d'exemples moins excessifs, mais très instructifs.

Digitized by Google

dimensions, mais deux d'entre elles, qui seront essentiellement limitées en principe, la troisième pouvant encore croître arbitrairement. Le vide s'étend alors d'*une manière linéaire*, en conservant une section normale restreinte. Il constitue une *voie de communication* : *puits*, *galerie* ou *fendue*, reliant l'un à l'autre deux points plus ou moins éloignés.

Enfin, les trois dimensions à la fois pourront se trouver réduites pour des excavations déterminées, et donneront lieu à des *points singuliers* du réseau souterrain, tels que accrochages, écuries, chambres de machines, etc.

Parmi ces trois classes d'ouvrages : chantiers, voies de communication, points singuliers, notre objet actuel est facile à circonscrire. La description des premiers ne doit pas encore nous occuper. Elle formera, dans la quatrième partie de ce Cours, la base de l'exposition des méthodes d'exploitation, destinées à organiser le chantier unique, ou à grouper ensemble les divers chantiers élémentaires, en vue d'organiser le dépècement rationnel du gîte. L'étude actuelle comprendra seulement les deux autres cas; et les points singuliers n'y présenteront d'ailleurs qu'une importance effacée. Nous insisterons donc en ce moment sur les voies de communication.

256 — La communication entre deux points donnés peut s'effectuer suivant une ligne quelconque. Indépendamment des irrégularités et des sinuosités inévitables dans la pratique, on peut même rencontrer *a priori* des motifs théoriques capables de porter l'ingénieur à disposer le profil en long suivant des courbes déterminées [1]. Cependant il est bien clair que le type fondamental sera presque toujours la ligne droite, qui est à la fois la plus simple et la plus courte.

D'un autre côté, quand la grandeur et la forme de la section transversale auront été discutées en l'un des points de cet ouvrage, en vue de la facilité des transports dont il doit devenir le théâtre, les mêmes motifs subsistant en général pour tous les

[1] Je citerai comme exemple le profil cycloïdal des rampes d'équilibre pour les tractions mécaniques à chaîne traînante (N° 714).

Digitized by Google

autres points, cette section restera constante. La forme type du vide à créer pour une voie de communication est donc le prisme.

Si ses génératrices sont rigoureusement verticales, il prend le nom de *puits*; si elles sont horizontales, celui de *galerie*; quand elles sont inclinées, celui de *montage*, *descenderie*, ou *fendue*. En réalité, une galerie n'est presque jamais rigoureusement horizontale. On lui donne toujours une très légère pente, pour la facilité du roulage et l'écoulement des eaux. Mais, lors même que cette inclinaison devient notable, les fonctions du montage et ses conditions d'établissement se rapprochent beaucoup de celles des galeries proprement dites. Quand au contraire ces ouvrages deviennent très raides, on peut les rattacher directement aux puits. Ils ne méritent pas, en un mot, tant que nous restons dans les généralités, de constituer une espèce absolument distincte, tandis que l'influence de la pesanteur établit une coupure infranchissable entre la théorie des puits et celle des galeries. C'est donc à ces deux types essentiels que nous réduirons, en ce moment, les voies de communication. De là le titre que nous avons donné à la troisième partie de ce Cours.

257 — *Soutènement.* — Lorsque le degré de solidité de la roche laissera plus de latitude que n'en nécessite la grandeur de l'excavation à établir, il sera toujours facile de se limiter. Mais si, au contraire, la nature du terrain ne permet pas de constituer directement le degré de vide indispensable pour les manœuvres de l'homme et le passage des véhicules, il devient nécessaire de venir en aide à cette solidité insuffisante. C'est l'objet du *soutènement*.

Ce serait se faire l'idée la plus fausse du soutènement que de le croire appelé à supporter purement et simplement le poids du massif qui le surmonte verticalement. Aucune construction souterraine n'y saurait suffire en général. Il faut remarquer, au contraire, que les réactions mutuelles exercées par les diverses parties de la masse les unes sur les autres sont loin, dans l'état d'équilibre naturel, d'être purement verticales, mais s'entremêlent dans les sens les plus divers. De plus, quand nous venons à troubler cet état de choses en pratiquant en un point une excavation, les forces

Digitized by Google

qui étaient appliquées par la partie supprimée à celle qui la surmonte, se trouvent seules anéanties, en ce qui concerne cette dernière. Toutes les autres subsistent de la part des masses environnantes. Il suffit donc de leur venir en aide, en apportant l'appoint nécessaire pour rétablir l'équilibre, si, en raison d'une trop grande portée, il ne peut plus avoir lieu sans un secours étranger. Mais il est clair que cet appoint sera proportionné bien plutôt au degré de trouble introduit dans l'ensemble, c'est-à-dire à l'importance de l'excavation, qu'au poids absolu du terrain qui la surmonte, lequel peut croître au delà de toutes limites. Dès lors la difficulté cesse de paraître insurmontable, et en effet le soutènement des parois est ordinairement chose facile.

258 — Cependant les mineurs ne connaissent que trop certains cas spéciaux où ils ont à lutter contre l'*effort irrésistible*, qui arrive toujours, quoi qu'on puisse faire, à détruire, parfois même dans un temps très court, l'édifice souterrain que l'on tenterait de lui opposer. Les bois s'écrasent, les maçonneries se disloquent, les profils circulaires s'aplatissent, l'étendue du vide se comble progressivement.

Cet effet se produit souvent dans des terrains susceptibles de gonfler ou *foisonner* par le contact de l'air humide, comme c'est le cas de l'anhydrite et de certaines marnes. D'autres fois, c'est simplement la pression transmise par les piédroits à une masse inférieure de nature plastique, qui la fait refluer dans le vide de la galerie.

Il faut alors *rebancher* celle-ci pour rétablir sa sole. Si, au contraire, la pression tend à écraser le plafond, on doit *recouper* ce faîte. Si c'est une des parois latérales qui pousse au vide, on la recoupera également. Mais on aura dans ce cas, pour rétablir la section, la ressource d'entailler, au lieu de ce piédroit, la paroi opposée, si l'on y trouve quelque avantage; par exemple, si la matière qui la constitue est rémunératrice, tandis que l'autre est stérile.

Ordinairement l'effet irrésistible finit par s'épuiser, quand on lui a suffisamment donné carrière. Après avoir sacrifié un ou

Digitized by Google

plusieurs boisages provisoires, on arrive enfin à pouvoir construire avec plus de soin un revêtement définitif.

259 — Il reste néanmoins alors, comme dans le cas général, la question de l'*entretien*, mais réduite à des termes ordinaires. On fait bien, du reste, en ce qui concerne les réparations, remplacements, redoublements, de prendre les devants dès que s'indique leur nécessité. En effet, les conditions ne sauraient s'améliorer d'elles-mêmes. Le mal ne fera que s'aggraver, et là où une légère dépense pourrait suffire en arrêtant à temps la dégradation, l'on se trouverait peut-être entraîné à des frais beaucoup plus importants pour avoir trop attendu.

Cette question capitale du soutènement doit être d'abord envisagée en elle-même. Quand nous aurons suffisamment approfondi les généralités qui la concernent, il deviendra beaucoup plus aisé de concevoir de quelle manière la pose du revêtement se marie avec l'abatage lui-même, lorsque l'inconsistance du terrain ne permet plus de séparer nettement les deux opérations, en les effectuant distinctement l'une à la suite de l'autre.

Il existe trois modes essentiels de soutènement dans lesquels on emploie : le bois, la pierre ou le métal. Nous les appellerons : *boisage*, *muraillement* et *blindage*. L'étude du boisage va former l'objet du présent chapitre [1].

§ 2

GÉNÉRALITÉS SUR LE BOISAGE

260 — *Essences*. — Les bois que l'on emploie le plus ordinairement pour le soutènement des mines se répartissent en trois catégories principales : bois *durs*, bois *résineux*, bois *blancs*. Les bois durs comprennent le chêne, le hêtre, le châtaignier, l'orme et le frêne; les bois résineux : le pin, le sapin et le mélèze; enfin les bois blancs : le peuplier, le bouleau, l'aune, le charme et l'acacia.

[1] Marny, Boisage des mines, *Génie civil*, V, 330.

Digitized by Google

On peut admettre pour le poids spécifique des diverses essences les limites suivantes[1].

ESSENCES	POIDS SPÉCIFIQUE EN KILOGR.	
	MINIMUM	MAXIMUM
Acacia	717	820
Aune	555	800
Bouleau	700	714
Charme	756	756
Châtaignier	683	1100
Chêne blanc	643	1015
Chêne vert	930	1220
Frêne	785	785
Hêtre	750	852
Mélèze	657	657
Orme	743	942
Peuplier	371	414
Pin	814	828
Sapin	460	657

261 — Les propriétés par lesquelles se recommandent ces diverses espèces sont les suivantes.

La *solidité*, pour laquelle le chêne se place au premier rang, et après lui le sapin rouge[2]; les bois blancs au dernier. Ceux-ci résistent mieux aux chocs. Quelques-uns d'entre eux, particulièrement l'aune, le tremble, et surtout le saule, présentent cet avantage que, lorsqu'ils sont sur le point de se briser, ils font entendre un craquement précurseur qui avertit l'ouvrier, et lui permet de se mettre à l'abri de l'éboulement.

La *rectilignité*, qui appartient principalement au chêne, au pin, au châtaignier et au hêtre. Au contraire, l'orme et le frêne sont recherchés pour les emplois en pièces courbes.

(1) *Agenda* Dunod pour les mines, 1882, 63.

(2) On appelle ainsi dans le Nord le pin sylvestre, qui est un vrai bois de mines. On a moins de confiance dans le pin maritime, et surtout dans les pieds qui ont subi l'opération du *résinage*. L'écoulement de la résine paraît leur ôter une partie de leur élasticité et de leur résistance. On a renoncé à cette pratique dans les forêts de la Grand-Combe.

Digitized by Google

La *légèreté*, que présentent surtout les bois résineux et les bois blancs.

La *résistance à l'humidité*, pour laquelle l'aune se place au premier rang, et après lui le chêne, le hêtre, le châtaignier, le pin(1).

Enfin la *résistance au mauvais air*. Une atmosphère viciée développe en effet dans le bois une véritable maladie organique que l'on appelle la *carie sèche*(2). L'acacia passe pour résister très bien à cette influence(3); le chêne, bien; l'aune, le tremble, le saule, assez bien; le mélèze, assez mal; le châtaignier, le hêtre, mal; le sapin, très mal. Le bouleau présente cet inconvénient spécial, que souvent son écorce ne participe pas à la décomposition de l'intérieur, et peut la dissimuler d'une manière dangereuse.

262 — *Conservation des bois.* — On a proposé divers procédés pour prolonger la durée des bois(4). Ces formules sont assez analogues à celles que l'on emploie pour la conservation des traverses de chemin de fer. Il y a pourtant entre ces deux cas une différence essentielle. Les traverses périssent principalement par altération chimique, résultant de leur vétusté, tandis que d'ordinaire les

(1) Nous avons déjà dit (N° 87) que si les alternatives de sécheresse et d'humidité sont destructives du bois, son séjour permanent dans l'eau tend plutôt à le conserver. On pourrait citer certains puits, dans lesquels on ménage à dessein des suintements d'eau sur les boisages. A la mine Ottilia (Westphalie), on arrose de même les fahrkunst.

On a également proposé de commencer par saturer d'eau les bois, en les faisant séjourner au fond de quelque puits abandonné, sous une grande pression hydrostatique. Les tiges de bois employées dans les sondages prennent une densité très supérieure à l'unité, tant par suite d'une réduction de volume, due à la compression qu'elles subissent, que par l'introduction du liquide dans le tissu fibreux. L'eau, ainsi unie à la matière ligneuse, ne l'abandonne plus ensuite que très lentement.

(2) Elle est contagieuse et se propage d'un cadre à l'autre. Elle répand une odeur *sui generis*. Le bois qui en est attaqué perd peu à peu sa consistance, et se laisse pénétrer facilement par une pointe de fer.

Des végétaux parasites y alimentent leurs racines. Des cryptogames s'y développent, sous la forme de grosses touffes excessivement légères, d'une mousse blanche comme la neige ou légèrement verdâtre, ou encore de dentelles blanches infiniment déliées plaquées sur le plafond, et formant autour de la tête des bois des cercles qui atteignent jusqu'à 1m,50 de diamètre. Parfois ces végétations sont légèrement phosphorescentes.

(3) Mais on lui reproche de *casser sec*.

(4) Fouert, *Bull. min.*, 2e, VIII, 289. — Paulet, Traité de la conservation des bois. *Annales télégraphiques*, juillet, août 1874. — Aucamus, *Bois et Métaux*, in-12, Dunod et Vicq, 1896, p. 33.

Digitized by Google

bois de mine sont voués à l'écrasement, avant d'avoir pu être atteints par une décomposition profonde. Aussi les procédés doivent-ils être pour eux beaucoup plus sommaires et moins dispendieux. On peut même les supprimer complètement dans les exploitations où le toit travaille d'une manière notable.

Le flambage produit peu d'effet. Le goudronnage laisse les bois poisseux et odorants.

Avec le procédé Lostal[1], on fait digérer les bois dans un lait de chaux. La dépense revient à 1 fr. 71 par mètre cube, ou 0 fr. 062 par mètre courant. La durée est, dit-on, doublée et les bois deviennent moins cassants, à l'inverse de ce que produit l'imprégnation par les dissolutions métalliques. Le chêne toutefois possède un tissu trop serré pour éprouver de la part de l'eau de chaux une véritable influence.

La naphtaline, la créosote et le tannate de fer ont été également essayés. La saumure de chlorure de sodium paraît préserver les bois dans les mines de sel; seulement elle les rend très cassants. On a essayé de même, soit à froid, soit à la température de 130°, le bichlorure de mercure, le chlorure de zinc et celui de calcium; mais ce dernier est très hygroscopique. Les eaux vitrioliques des mines de pyrite de fer ou de cuivre ont également été utilisées pour cet usage, par analogie avec les procédés du docteur Boucherie ou de MM. Léger et Fleury.

M. H. Fayol a systématisé l'emploi du sulfate de fer[2], au moyen d'une solution de 150 kilogrammes de vitriol par mètre cube d'eau. On ne donne à l'immersion qu'une durée de 24 heures, pour éviter de rendre le bois cassant. L'imprégnation ne pénètre guère, dans ces conditions, qu'à un millimètre de profondeur, et néanmoins cette modification a paru décupler la durée. L'opération revient à 0 fr. 05 par mètre courant.

263 — M. H. Fayol a fait des études comparatives[3] portant à la fois sur l'influence de l'essence végétale et sur celle du réactif

(1) *CRM*, novembre 1877, 7.
(2) *CRM*, 1878, 38. — *Bull. min.*, 2e, III, 569.
(3) *CRM*, 1878, 118; 1890, 223.

Digitized by Google

employé. Les chiffres de durée *proportionnelle* mentionnés dans le tableau suivant ont été déterminés *en prenant comme unité pour chaque espèce celle* DU MÊME BOIS *à l'état naturel.* On a considéré en outre comme usées les pièces qui ont perdu la moitié de leur résistance.

ESSENCES	PROCÉDÉS DE CONSERVATION						
	EAU DE MINE	CARBONISATION	GOUDRON	CRÉOSOTE	CHLORURE DE ZINC	SULFATE DE CUIVRE	SULFATE DE FER
Acacia. . . .	1,20	7,22	5,33	2,20	40,00	8,00	26,60
Alisier . . .	»	»	1,00	»	20,00	»	50,00
Bouleau. . .	1,00	»	»	»	50,00	2,66	13,33
Cerisier. . .	1,66	»	3,16	»	»	2,50	1,83
Charme. . .	3,00	2,50	7,00	15,00	50,00	»	12,00
Chêne. . .	10,40	1,00	14,40	3,60	14,40	38,40	28,80
Érable . . .	2,50	3,00	6,00	12,00	»	7,50	»
Hêtre. . . .	1,00	1,37	6,00	1,75	50,00	50,00	7,50
Peuplier . .	1,00	»	2,20	»	»	11,38	2,61
Pin maritime.	1,00	1,00	»	40,00	8,00	5,33	2,66
Tremble. . .	1,00	»	2,50	»	»	2,50	8,00
Verne. . . .	1,00	1,00	2,11	40,00	40,00	4,00	10,00

Quant à la durée *absolue*, elle présente, pour chacune de ces espèces, la valeur suivante :

Chêne.	50 mois.
Hêtre	24 —
Bouleau, cerisier, peuplier, pin, tremble, verne.	18 —
Acacia.	9 —
Charme, érable	6 —

Ces divers nombres, multipliés par les coefficients renfermés dans le premier tableau, permettent de faire la double comparaison qui résulte du choix de l'essence et du procédé.

264 — *Données économiques.* — La consommation du bois pour le soutènement des mines intéresse par son importance la

Digitized by Google

richesse publique (1). Elle s'est élevée en France, pour l'année 1876, à 738 900 stères, ce qui représente la production de 184 800 hectares de forêts (2).

Rapportée à l'extraction du combustible, elle correspond à 47 décimètres cubes de bois, c'est-à-dire une valeur de 96 centimes, par tonne de houille. Cette quantité de combustible minéral est capable par elle-même d'un pouvoir calorifique 187 fois plus grand que celui du bois qu'on lui sacrifie. Rien n'est plus variable du reste, d'une mine à l'autre, que le chiffre de cette consommation, suivant les conditions où se trouvent placées les exploitations (3). En France, elle se tient en général entre 0 fr. 30 et 2 francs. Elle paraît moindre en Belgique : 0 fr. 60 à 0 fr. 90 environ; et surtout en Angleterre, où elle s'abaisse à 0 fr. 20 ou 0 fr. 30, en raison des conditions beaucoup plus favorables que présentent les gisements de combustible de la Grande-Bretagne. On est même descendu, dans le Durham, à 0 fr. 10 de bois par tonne de houille. A un point de vue inverse, on peut citer, comme exemple exceptionnel, la mine de Lower Duffryn (South-Wales), où le boisage a atteint 3 francs, soit environ 100 kilogrammes, par tonne de charbon.

Si on l'évalue en longueur, la consommation de bois est en général, pour la France, de $0^m,50$ à 2 mètres, et même $2^m,50$ par tonne de houille.

265 — Le déboisage permet de réduire notablement ce chiffre (4). C'est une opération délicate, qui tend cependant à

(1) De Thélu, inspecteur des forêts, *Notice sur les étais de mine en France*, in-4°. — Fernost, The mining industrie in its relation to forestry, *Trans. americ. min.*, octobre 1888.

(2) Sur ce chiffre, la France, par 62 de ses départements, avait produit 692 000 stères, la Belgique en avait importé 44 200, et l'Allemagne 2 700. Par contre, la France avait exporté en Belgique 136 500 stères de bois d'étais, en Angleterre 81 200, et en Allemagne 860, c'est-à-dire en tout 218 560, ce qui fixe sa production propre à 910 560 stères pour l'étançonnage des mines.

(3) Vuillemin, *Diminution du prix des étais de mine*, brochure n° 97, août 1883.

(4) M. Fayol annonce qu'il réalise ainsi à Commentry une économie de moitié (*CRM*, 1878, 120). — André Dumont, Le déboisage des tailles, *Mémoires de l'Union des ingénieurs de Louvain*, 1887.

Digitized by Google

se répandre [1]. On ne doit s'y livrer qu'avec les précautions nécessaires, et lorsque la nature du gisement le permet nettement, que la couronne est solide et qu'elle donne avec ensemble, sans coups de charge irréguliers. Au point de vue de la sécurité du personnel, il est bon de charger de ce travail des ouvriers spéciaux, non intéressés à la quantité de bois enlevé.

On trouve également dans cette pratique l'avantage de réduire l'aliment de l'incendie. On retire alors tout ce qu'on peut, avant et pendant le remblayage, et l'on arrache encore des parties remblayées, à l'aide d'un cric, les bois dont on rencontre la tête en tranche supérieure. Il faut avoir soin, pour ce motif, de les placer le gros bout en haut.

Si le déboisage devient dangereux, on réussit encore à enlever quelques pièces, soit en les attirant avec des crochets munis de longs manches, soit en installant à distance un treuil et tirant sur les buttes avec des chaînes. Quand un des étais a été renversé, l'on continue l'action, pour l'attirer le plus vite possible avant qu'il soit pris sous l'éboulement [2].

266 — Certaines Sociétés minières ont trouvé avantageux d'acheter des superficies considérables comprises dans le périmètre de leur concession, et de les semer, ou planter, avec des essences bien appropriées. La Compagnie de la Grand'Combe a boisé de cette manière environ 1 200 hectares.

En se mettant ainsi de bonne heure au lieu et place des propriétaires de la surface, avant qu'un grand développement de l'entreprise ait amené une plus-value importante des terrains, on évite des contestations pour les dégâts que les affaissements apporteront dans la superficie, pour la disparition des eaux d'irrigation, pour le tracé des chemins de fer miniers, etc. De plus, on arrive à créer au bout de quelque temps une exploitation forestière qui, si elle ne suffit pas entièrement à la consommation souterraine,

(1) Tellier, Mode de soutènement mobile, *Publication de la Société des ingénieurs sortis de l'École provinciale d'industrie et des mines du Hainaut*, XVII

(2) *CRM*, 1878, 50. — Ledoray, 6e *Bulletin* de la Société des anciens élèves de l'École des mines du Hainaut, 107. — Eckart, *Preuss. Zeitschrift*, IV, 243.

Digitized by Google

peut jusqu'à un certain point servir de régulateur dans les achats faits au dehors.

267 — Les bois *en grume* destinés à la charpente se vendent en général entre 30 et 50 francs le mètre cube. Les bois plus ou moins façonnés peuvent coûter de 50 à 150 francs, et les pièces de choix jusqu'à 300 francs. Les simples rondins, destinés à rester en cet état dans le boisage, se payent de 25 à 35 francs le mètre cube.

Pour les petits calibres, on compte au mètre courant plutôt que d'après le volume. Le prix du mètre varie d'après le diamètre, depuis 0 fr. 15 jusqu'à 1 franc. Dans le centre et le midi de la France, il oscille entre 0 fr. 30 et 0 fr. 60.

Les bois de dimensions exceptionnelles deviendraient d'un prix inabordable en dehors des régions spécialement favorisées sous ce rapport. C'est ainsi que les forêts de Pologne fournissent aux houillères de Silésie et de Dombrowa des bois qui atteignent parfois 12 et 13 mètres de longueur sur $0^m,35$ de diamètre moyen, au prix de 5 francs pièce, ce qui en met le mètre cube à 4 francs environ; tandis qu'il faudrait, en France, les payer sept ou huit fois plus cher.

268 — Les exploitants accumulent d'assez grandes provisions de bois sur le carreau de leur mine. Il est bon d'aménager à cet effet un emplacement exposé au nord, pavé et incliné, couvert autant que possible. On en devra éloigner les amas de sciure de bois, d'écorces, de copeaux, susceptibles de fermenter avec l'humidité. Il convient de débarrasser d'avance les bois de leur écorce, qui n'ajoute rien à la solidité et accélère les influences décomposantes.

On empile les gros bois; on place les perches debout. Les différentes sortes sont amoncelées distinctement. On sépare par des fils de fer les divers milliers ou centaines de pièces. On a soin de n'entamer qu'une seule série à la fois, pour faciliter la tenue d'une comptabilité journalière et les vérifications.

269 — *Emploi des bois.* — On débite les bois en *rondins*, ou *demi-rondins*, en fendant les premiers suivant un plan méridien.

Digitized by Google

Ceux qui sont d'un moindre diamètre s'appellent *perches*, et les plus minces *rallongues*, ou *queues*. Pour les garnissages, on se sert d'*esclimbes*, obtenues en refendant en quatre de petits rondins; de *croûtes*, enlevées par l'équarrissage sur le flanc des pièces rondes; de *veloutes*, de *fagotages*, de *fascines*, pour les parties de plus en plus ébouleuses.

Les bois ouvragés sont : les *sommiers*, pour les plus forts équarrissages, souvent formés de plusieurs pièces juxtaposées et frettées ensemble; les *madriers* et les *palplanches*, sortes de planches épaisses et régulièrement dressées pour construire avec précision des ouvrages spéciaux; les *écoins*, pièces analogues, mais de faible longueur. Les bouts rejetés sont refendus pour former des *picots*, des *coins*, des *plat-coins*, des *briques de bois*. Il est préférable, lorsque cela se peut, d'acheter les bois exactement à la longueur voulue, afin d'éviter les frais de transport des bouts inutiles.

270 — Souvent le même ouvrier est chargé de toutes les parties du travail : abatage, boisage, pose des voies, etc. Le prix de l'avancement comprend alors en général le boisage. Cependant il est préférable, même dans ce cas, de payer ce dernier chapitre à part, pour que le mineur ne soit pas tenté de préférer son bénéfice à sa sécurité.

Afin d'obvier à cet inconvénient, on donne le bois à discrétion, tout au moins au porion ou gouverneur; on va même jusqu'à renvoyer le piqueur qui provoquerait un éboulement par sa faute constatée. Dans d'autres cas, on rend le soutènement tout à fait systématique, en déterminant exactement le type de quadrillage que doit former le boisage; quoiqu'il soit bien clair que l'on s'expose ainsi à des dépenses inutiles sur certaines places, puisque cette fixation doit se faire, pour être efficace, d'après le minimum de solidité. On peut aussi boiser plus largement l'avancement avant qu'il ait travaillé, et exécuter ensuite en arrière des redoublements aux endroits où l'utilité s'en fait sentir.

Le boisage est mieux fait lorsque l'on sépare les deux fonctions de l'abatage et du soutènement. Les boiseurs spéciaux acquièrent rapidement une grande habitude de ce genre de travail; mais l'or-

Digitized by Google

ganisation du travail des chantiers présente alors plus de complication.

271 — La charpenterie des mines est, du reste, tout à fait grossière, et bien loin de constituer un art comparable à celui qui produit les belles constructions en bois de nos édifices, ou même bien souvent les échafaudages temporaires qu'ils nécessitent. Dans ces divers ouvrages, les pièces se pénètrent mutuellement, en constituant des *assemblages* dont la théorie forme une des branches d'applications de la géométrie descriptive. Dans les mines, au contraire, les bois sont simplement *appuyés* les uns contre les autres. La ceinture de pressions que le terrain exerce sur eux de toutes parts ne laisse en effet aucune latitude à leur séparation ; et en outre elle s'opposerait aux manœuvres, écartements, insertions nécessaires pour marier les éléments d'un assemblage.

Les efforts sont d'ailleurs tels que ces juxtapositions deviennent souvent des pénétrations, et que certains bois s'incrustent les uns dans les autres comme dans une substance malléable.

272 — Il ne sera pas inutile de rappeler ici, sans démonstration, quelques principes généraux que fournit la théorie de la résistance des matériaux.

1° A poids total égal, il vaut mieux employer une grosse pièce que plusieurs petites. Une pièce fractionnée en n autres, identiques entre elles et semblables à la première, résiste mieux à la flexion que leur ensemble, et la fatigue s'y trouve réduite dans le rapport de 1 à $\sqrt{n}$.

2° Si l'on assemble plusieurs pièces de bois pour travailler debout ou transversalement, ou si l'on moule de la fonte, les sections évidées fonctionnent, à surface égale, dans de meilleures conditions que les sections pleines.

3° Pour une section donnée, il vaut mieux faire fléchir la pièce *de champ*, c'est-à-dire dans le plan de sa plus grande dimension. Pour un rectangle, la charge par unité de surface varie en raison inverse du côté placé *debout*, et la flèche en raison inverse de son carré.

Digitized by Google

4° En ce qui concerne la longueur, il convient toujours de la réduire au minimum. Pour une charge transversale appliquée à l'extrémité d'une pièce encastrée, la fatigue est proportionnelle à la longueur, et la flèche au cube de cette longueur.

On peut, à cet égard, réduire les longueurs *libres* en entretoisant les pièces. Pour du bois travaillant debout par exemple, la charge admissible sur la tête varie comme le carré du nombre des moises augmenté d'une unité. Elle deviendra quadruple si l'on introduit une seule moise, neuf fois plus grande avec deux moises, et ainsi de suite.

5° L'encastrement d'une extrémité que l'on scelle dans une direction fixe, au lieu de la laisser s'incliner librement, ajoute beaucoup à la raideur. Par exemple, pour une pièce qui ne supporte que son propre poids, la flèche sera cinq fois moindre si ses extrémités sont scellées, que si elles sont simplement posées sur des appuis.

6° Il vaut mieux répartir la charge sur toute la longueur, que de l'accumuler à l'extrémité. La flèche est réduite par là dans le rapport de 8 à 5.

7° Il sera bon de tenir compte du jeu et des petits mouvements impossibles à éviter, pour disposer les pièces un peu à côté de la position jugée la meilleure, et dans un tel sens que le tassement probable ait pour effet de les ramener à cette situation.

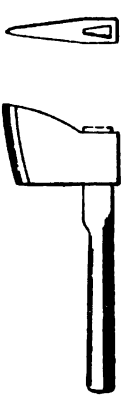


Fig. 175 et 176. Hache de boiseur (plan et élévation).

273 — Pour la mise en œuvre du bois, le mineur emploie rarement la *scie*; il s'en sert cependant pour dresser suivant un plan les pièces qui travaillent debout. On commence toujours par ajuster ainsi le gros bout, afin d'obtenir plus de résistance dans l'ensemble, en détachant dans la partie mince l'excédent de longueur.

Le véritable instrument du boiseur est la *hache* (fig. 175 et 176). La lame peut être équilibrée par une tête, formant masse pour frapper quand il est nécessaire. La hachette de mineur a $0^m,21$ de longueur; $0^m,17$ de hauteur; $0^m,04$ d'épaisseur au corps. Elle pèse 1 kilogramme, et coûte 1 fr. 20

Digitized by Google

plus 0 fr. 20 pour le prix du manche. Il en existe également qui sont plus lourdes et plus chères.

L'ouvrier procède autant que possible en éclatant le bois suivant les fibres, et en évitant de trancher ces dernières. En effet une fibre coupée qui ne porte plus directement sur le point d'appui, est à peu près comme non avenue pour la résistance.

Il semble difficile d'automatiser un travail aussi simplifié que celui que nous venons d'indiquer, et qui exige une appréciation de détail pour chaque pièce. Il en existe pourtant quelques exemples [1]. C'est ainsi que l'on a employé dans le Pas-de-Calais des *machines à picots*, destinées à façonner ces petites pyramides quadrangulaires très allongées, dont on fait, comme nous le verrons, sous ce nom de picots, une énorme consommation pour la traversée des passées aquifères dans le fonçage des avaleresses (N°s 318, 342).

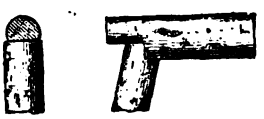


Fig. 177 et 178.
Assemblage en gorge de loup
(élévations antérieure et latérale).

On a également monté à Blanzy une *machine à encocher*, destinée à dresser l'*assemblage à gorge de loup* (fig. 177 et 178) qui est le mode ordinaire de juxtaposition des pièces de cadre. Il s'obtient à l'aide de quatre traits de scie, et présente cet avantage de ne pas entailler un des deux bois plus que l'autre, de manière à diminuer aussi peu que possible la résistance. La pièce, placée sur un chariot, vient se présenter successivement à quatre scies rotatives, orientées sous les angles voulus pour dresser les quatre plans de l'assemblage.

Une mine de quelque importance doit toujours posséder un atelier de menuiserie, renfermant les ressources nécessaires pour les réparations du matériel.

[1] Sottiaux, Machine à façonner les bois de mine, *Public. de la Soc. des ingénieurs de l'Éc. des mines de Hainaut*, XVII, 1er Bulletin, 1885-86. — Mathieu, Note sur la machine à façonner les bois des charbonnages de Saars-Longchamps, *Rev. univ. d. m.*, 3e, XVIII, 50.

Digitized by Google

§ 3

BOISAGE DES GALERIES

274 — *Cadre complet.* — Les galeries se boisent [1] au moyen de *cadres*, disposés suivant les sections droites du prisme. Quand le terrain exerce une forte poussée, ces cadres sont *jointifs* [2]. Si la masse travaille peu, on les espace dans une mesure variable avec l'importance des pressions. Lorsque, sans exercer de grands efforts, le terrain est cependant sujet à se dégrader, on continue à espacer les cadres au degré convenable pour résister à la poussée, mais en outre l'on maintient derrière eux les parements avec des *garnissages*, formés de veloutes ou de fascines. Il peut enfin arriver que la stratification présente à la fois des bancs solides et d'autres inconsistants. C'est alors cette partie seulement que l'on recouvre de garnissages, tandis que les autres restent nues derrière les cadres.

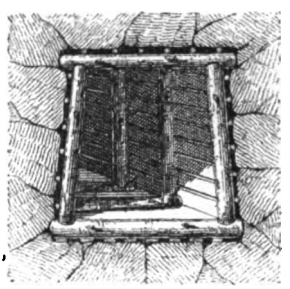


Fig. 179. — Cadre complet.

275 — Le cadre *complet* est un trapèze équilatère (fig. 179) formé de quatre pièces, à savoir : le *chapeau*, les *montants* et la *semelle*. Cette forme présente l'avantage tout à la fois de procurer de la hauteur suivant l'axe, pour faciliter le passage du corps de l'homme et du cheval qui n'ont pas besoin de beaucoup de largeur, et en même temps, de donner de la largeur dans la partie basse pour les véhicules qui ne nécessitent

(1) On trouve dans le *Cours théorique et pratique d'exploitation des mines* de M. Cambessédès (3e fascicule, 53 à 78), de nombreuses et instructives figures relatives au boisage souterrain.

(2) Dans les mines d'ozokérite de Boryslaw, en Gallicie, on a des poussées énormes dues à ce que la masse fissurée se trouve dans une sorte d'équilibre hydrostatique par suite de son imprégnation de pétrole. Les ouvrages sont limités pour être de peu de durée. Les mères-galeries sont très solidement boisées à l'aide de cadres en chêne de 0m,50 d'équarrissage, jointifs et contreventés. On picote partout les intervalles. Malgré ces soins les bois sont bientôt tordus et brisés par la pression.

Digitized by Google

pas une grande hauteur. De plus, en restreignant la longueur du chapeau, on en diminue la portée, ce qui améliore ses conditions de résistance. Enfin, en écartant les piédroits à la base, on s'oppose à ce que leur rentrée en dedans vienne à être provoquée par les poussées latérales, qui auraient bientôt culbuté les côtés d'un rectangle en les chassant au pied.

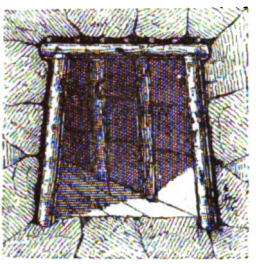


Fig. 180. — Cadre ordinaire.

La semelle est formée d'un demi-rondin posé à plat sur le sol. On ménage à ses deux extrémités les embases des montants. Ces derniers y reposent au moyen d'une section pratiquée à la scie. On dispose le gros bout en haut, afin qu'il présente plus de matière pour le délardement de la gorge de loup, et résiste mieux à cet affaiblissement. On place le chapeau sur les montants, que l'on force, à l'aide d'une pince et de la masse, à s'écarter jusqu'à ce que les deux parties de l'assemblage s'emboîtent l'une dans l'autre.

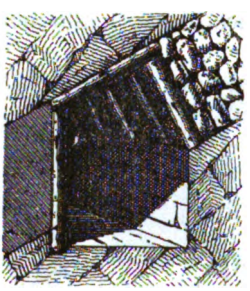


Fig. 181. — Cadre déjeté.

276 — *Cadres simplifiés.* — A partir du cadre complet, on rencontre des simplifications successives, quand les conditions de soutènement le permettent.

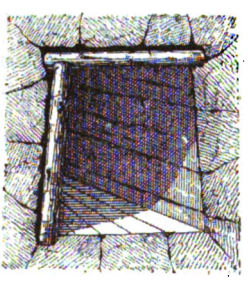


Fig. 182.
Cadre à un seul montant.

Parfois le chapeau disparaît, et l'on a un *cadre triangulaire*. Cette combinaison présente la propriété, qui n'appartient qu'à elle, d'être géométriquement indéformable; le triangle étant l'unique polygone qui soit déterminé par la seule connaissance de ses côtés. Il faudra, pour qu'une telle section puisse se modifier, que les bois se brisent, tandis qu'il leur suffit, avec toutes

Digitized by Google

les autres formes, de jouer autour de leurs assemblages. Mais en revanche le triangle équilatéral, qui est parmi les triangles isopérimètres le plus grand en surface, c'est-à-dire le plus avantageux à dépense égale de bois, est en même temps, parmi les polygones réguliers, celui qui a la plus petite section à égalité de contour.

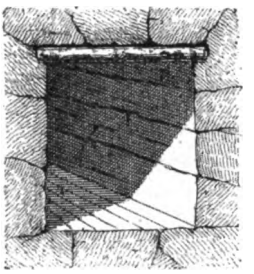


Fig. 183. — Chapeau unique.

En outre la forme triangulaire est très mal disposée au point de vue de l'utilisation de son aire. Aussi doit-on s'étonner de la faveur que rencontre encore quelquefois ce type très défectueux.

277 — La suppression la plus fréquente est celle de la semelle (fig. 180). On obtient par là ce que nous appellerons le *cadre ordinaire*, car il se rencontre beaucoup plus fréquemment que tous les autres.

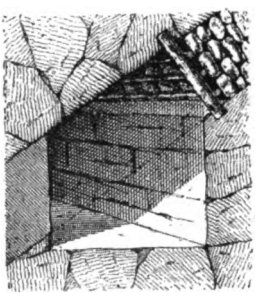


Fig. 184. — Chapeau déversé.

Ce cadre peut également prendre une position déjetée (fig. 181), lorsque l'inclinaison du gîte détermine des poussées qui ne sont plus symétriques par rapport à l'axe de la galerie.

D'autres fois le cadre perdra en outre un montant (fig. 182), si l'une des parois présente une solidité suffisante pour en tenir lieu.

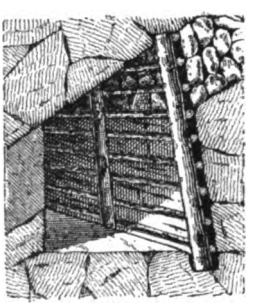


Fig. 185. — Montant déversé.

Quand les deux piédroits de la galerie remplissent à la fois cette condition, le second montant disparaît à son tour, et il ne reste plus qu'un simple chapeau (fig. 183). Cette pièce pourra du reste se trouver déjetée par le pendage du gisement (fig. 184).

En forçant peu à peu par la pensée cette inclinaison, on passe

Digitized by Google

à des dispositions telles que celle de la figure 185, où la pièce unique, plus rapprochée de la verticale que de l'horizontale, doit plutôt être considérée comme un cadre réduit à un de ses montants.

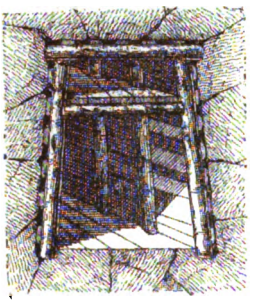


Fig. 186.
Cadre étrésillonné par le haut.

278 — *Cadres complexes.* — Inversement, il existe des cadres plus compliqués que le cadre normal qui nous a servi de point de départ.

Lorsque la galerie est particulièrement élevée, on entretoise les montants près du faîte (fig. 186) au moyen d'un *tendard*, pour s'opposer à leur flexion par les poussées latérales. Si l'on garnit cette séparation d'un galandage continu, elle fournira au besoin un *carnet* d'aérage pour le retour d'air.

On peut de même étrésillonner les montants près du pied (fig. 187), et se ménager ainsi sous le plancher de roulage un *caniveau* pour l'écoulement des eaux.

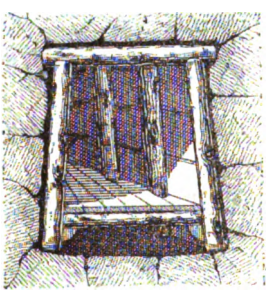


Fig. 187.
Cadre étrésillonné par le bas.

Lorsque la galerie est exceptionnellement large (fig. 188), on soulage la portée du chapeau, en supportant son milieu sur une butte centrale, suivant l'axe de symétrie du cadre. On a soin notamment de *chandeller* les cadres au moyen de buttes placées sous le chapeau, lorsqu'on abandonne pour un certain temps un quartier, avec esprit de retour.

279 — On désigne sous le nom de *boisage armé* ou *longrinage* (fig. 189) un système plus complexe encore, constitué de la manière suivante [1]. Le point critique de la fatigue du chapeau, c'est-à-dire son milieu, se trouve soutenu sur un court renfort, que deux contre-

[1] Chansselle, *Bull. min.*, 2, III, 709.

Digitized by Google

fiches arc-boutent contre les points critiques des montants, de manière à en refouler la flexion. L'effort ainsi reporté obliquement sur ces points, s'y décompose en une force horizontale tendant à équilibrer la poussée latérale du terrain, et une composante verticale que l'on reporte dans le sol à l'aide d'une jambe de force. On réalise d'ailleurs la solidarité des divers cadres au moyen de longrines qui réunissent ensemble les points successifs d'assemblage des montants, des contrefiches, et des jambes de force.

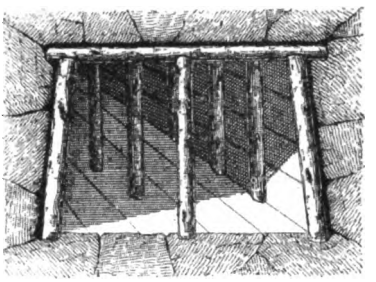


Fig. 188. — Cadre étrésillonné par le milieu.

Ce type de boisage paraît prolonger la durée de l'ouvrage dans un rapport considérable, jusqu'au triple et même davantage, en n'augmentant le prix de revient que d'un cinquième environ.

280 — M. Daburon a proposé un système spécial [1], destiné au cas d'un mouvement presque irrésistible.

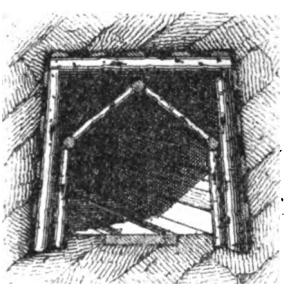


Fig. 189. — Longrinage.

Il fait remarquer qu'en raison de la grande inégalité que présente le bois, suivant qu'on le fait travailler debout ou transversalement, le cadre est mal équilibré pour ces fortes pressions. Le chapeau se fatigue beaucoup plus que les montants et il est écrasé avant eux. Quand ceux-ci arrivent ensuite eux-mêmes à céder, il ne reste plus aucun soutien et tout s'écroule. Il serait, au contraire, désirable de laisser descendre doucement le plafond tout d'une pièce, au lieu de permettre, par la rupture du chapeau, des chutes de pierres, qui pourront

[1] *CRM*, 1880, 60. — *Bull. min.*, 2e, IX, 873.

Digitized by Google

donner lieu à une propagation indéfinie de l'éboulement en hauteur.

D'après ces vues, M. Daburon commence par renforcer la partie supérieure, en arc-boutant le chapeau sur les montants, comme dans le cas précédent, au moyen de contrefiches placées dans les angles. Mais il affaiblit, au contraire, le montant à sa base en forme de sifflet, de manière que cette pointe s'écrase contre la sole à la demande de la charge, en permettant ainsi un affaissement progressif, qui n'entraîne plus comme corollaire inévitable la dislocation complète de l'appareil.

281 — Le prix de revient, pour un cadre ordinaire, se décompose en général de la manière suivante. La pose revient à 1 franc ou 1 fr. 50. Il y entre de 3 à 5 francs de bois. S'il s'y ajoute un garnissage, la quantité afférente à chaque cadre en élèvera le prix de 1 ou 2 francs, selon que ce revêtement sera plus ou moins important, et les cadres plus ou moins espacés.

Avec un garnissage complet, et un espacement de trois cadres pour deux mètres, le boisage du mètre courant pourra ressortir à 10 francs environ.

282 — *Voûtes en bois.* — Dans certains cas exceptionnels, le cadre se complique au point de devenir méconnaissable. Il ne forme plus alors, à proprement parler, que l'arceau d'une voûte en bois.

Dans un premier système[1], qui a été introduit vers 1845 à Hallstadt (Salzkammergut), l'arceau constitue un polygone d'un grand nombre de côtés très courts, que l'on peut assimiler à un profil courbe de forme ovoïde (fig. 190 et 191). La dépense par mètre courant est de 37 fr. 25 de bois, et 37 fr. 75 de main-d'œuvre. Cet ouvrage est ordinairement ruiné au bout de trois ou quatre ans.

Dans un autre dispositif (fig. 192 et 193) employé dans la même mine, on assemble des rondins suivant les génératrices du cylindre de la galerie, en ayant soin de faire chevaucher leurs longueurs,

[1] Keller, *Annales*, 6e, II, 21. — Ramsauer, *Annales de l'École des mines* de Vordernberg, 3 *bis*, 132.

Digitized by Google

de manière que toutes les extrémités ne se trouvent pas dans la même section droite, afin de mieux solidariser les diverses parties. Ce mode exige par mètre courant 37 fr. 25 de bois, et 24 fr. 05 de main-d'œuvre. Il est donc un peu plus économique que le précédent. Il est en même temps plus solide, et peut durer une dizaine d'années. Mais il tend lui-même à disparaître devant l'emploi du muraillement, qui est à la fois plus durable et moins cher.

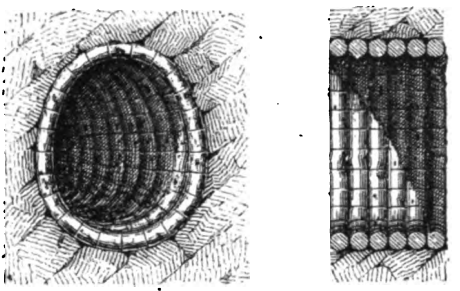


Fig. 190 et 191. — Voûte en bois, rondins en travers (coupes transversale et longitudinale).

283 — A Mariemont (Hainaut), on a employé pour des passées difficiles un appareil en briques de bois, extrêmement coûteux mais très solide. Il est formé de voussoirs qui présentent 0m,20 à l'intrados 0m,30 à l'extrados et 0m,40 suivant les génératrices du cylindre. Ils sont goudronnés deux fois. Des cales longitudinales traversant de part en part quelques-unes de ces briques, établissent la solidarité des arceaux contigus. On dispose en outre de distance en distance, quelques cintres en fer, assemblés à la voûte au moyen de vis à bois.

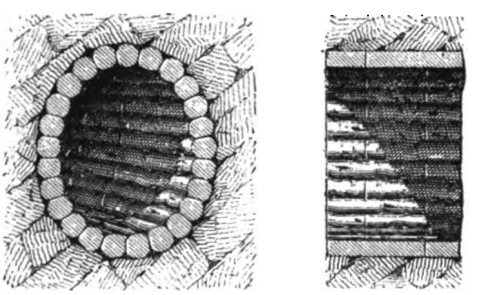


Fig. 192 et 193. — Voûte en bois, rondins en long (coupes transversale et longitudinale).

On a également employé à Villebœuf (Loire) des voussoirs en bois, soit seuls, soit associés à la brique.

Digitized by Google

§ 4

BOISAGE DES PUITS

284 — Les puits sont des organes d'une importance capitale, tant pour le fonctionnement de la mine que pour le salut de la population souterraine. Il ne faut donc rien épargner pour leur consolidation [1]. On emploie pour leur revêtement des bois de choix, plus coûteux, mais en revanche plus durables que ceux des cadres de galeries. En outre les diverses pièces sont taillées et assemblées avec plus de soin. L'augmentation du prix coûtant est d'ailleurs récupérée en partie par la diminution des réparations, particulièrement nuisibles dans les puits, où elles entravent les services de la manière la plus fâcheuse. Lorsqu'elles vont jusqu'à entraîner un chômage de la mine ou d'un quartier, les pertes prennent de suite une importance considérable.

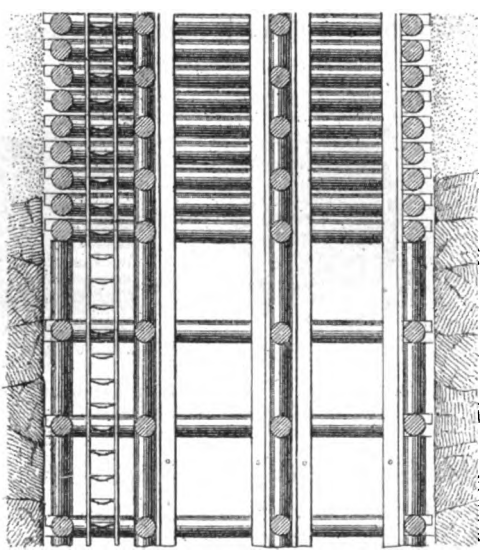


Fig. 194. — Cuvelage en bois (coupe verticale).

Les puits se boisent par cadres comme les galeries. La section est alors nécessairement polygonale. La plupart du temps c'est un rectangle, étrésillonné par des arcs-boutants parallèles au petit côté quand l'autre prend beaucoup de longueur (fig. 194, 196 et 197). Ces entretoises sont alors garnies de galan-

[1] Rothfelder, Boisage des puits, *Génie civil*, XIV, 411.

Digitized by Google

dages, qui servent à diviser le puits en compartiments rectangulaires pour l'installation des divers services.

D'autres fois la section est un polygone régulier, présentant un assez grand nombre de côtés pour qu'elle se rapproche suffisamment de la forme circulaire, au moins seize, et parfois jusqu'à vingt-six. Cet ouvrage, formé de voussoirs exactement équarris, présente une certaine analogie avec les douelles d'une cuve, d'où le nom de *cuvelage* qu'il porte ordinairement ([1]).

Les cadres sont jointifs si la poussée l'exige, ou si le terrain est aquifère (N° 343); plus ou moins espacés au contraire dans

([1]) Le cuvelage prend une importance décisive dans les milieux aquifères. L'équarrissage à donner aux pièces peut alors se calculer avec précision, en fonction de la charge hydrostatique H que chacune d'elles est appelée à supporter. Cette hauteur peut être connue directement pendant le fonçage. Il suffit pour cela de laisser l'eau prendre librement son niveau à l'intérieur du puits, sauf à le dénoyer ensuite avec les pompes d'avaleresse. Nous ajouterons à cette première donnée le rayon ρ du cercle inscrit dans œuvre, et le nombre n des côtés du polygone régulier.

Chacun des voussoirs se courbe symétriquement dans sa partie médiane, sous la pression hydrostatique ϖH qu'il supporte par unité de surface. On peut d'après cela, en s'attachant uniquement à l'une de ses moitiés, l'envisager comme une pièce encastrée dans le plan de symétrie (fig. 195), et sollicitée à la fois par cette pression latérale dans sa concavité et, en outre, par une réaction F normale au joint et exercée par le voussoir adjacent.

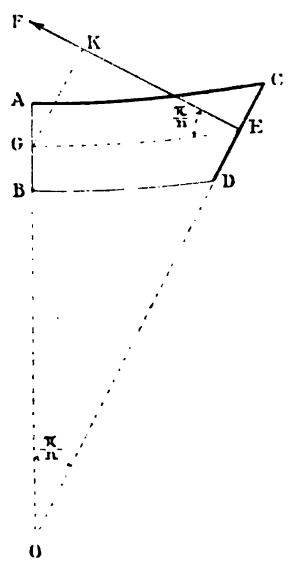


Fig. 195.

Pour déterminer en premier lieu cette force F, exprimons l'équilibre du demi-voussoir par une équation de projections sur le rayon OA. Les forces élastiques développées dans l'encastrement AB disparaissent d'elles-mêmes, et il reste :

$$F \operatorname{Sin} \frac{\pi}{n} = \varpi \, H \, b \, (\rho + a) \operatorname{tang} \frac{\pi}{n},$$

en désignant par a l'équarrissage inconnu AB, et par b la hauteur verticale de la pièce. Il vient donc :

$$F = \frac{\varpi \, H \, b \, (\rho + a)}{\cos \frac{\pi}{n}}.$$

Quant à la fatigue maxima R par unité de surface, développée dans l'encastrement

Digitized by Google

les terrains solides. Pour maintenir les distances, on insère des montants verticaux reliés aux cadres par des goussets.

au point extrême B, elle est fournie, d'après la théorie de la résistance des matériaux pour le cas des forces obliques, par la formule ;

$$R = \frac{X}{\Omega} + \frac{VM}{I},$$

en appelant : 1° en ce qui concerne la section : Ω la surface, V son ordonnée maximum GB, I son moment d'inertie par rapport à l'axe neutre projeté au centre de gravité G de cette section; ce qui donne dans le cas du rectangle :

$$\Omega = ab, \quad V = \frac{b}{2}, \quad I = \frac{ba^3}{12}, \quad \frac{V}{I} = \frac{6}{ba^2};$$

2° en ce qui concerne les forces appliquées extérieurement : X la somme de leurs projections sur l'axe longitudinal GE, et M la somme de leurs moments par rapport à l'axe neutre G. Dans la valeur de X, les pressions hydrostatiques disparaissent, puisqu'elles sont normales à l'axe de projection, et il reste seulement :

$$X = -F \cos\frac{\pi}{n},$$
$$= -\varpi Hb(\rho + a).$$

Pour le moment M, on a

$$M = F.\,GK - \varpi Hb(\rho + a)\tang\frac{\pi}{n}.\frac{AC}{2}$$
$$= \frac{\varpi Hb(\rho + a)}{\cos\frac{\pi}{n}}.\,GE\sin\frac{\pi}{n} - \varpi Hb(\rho + a)\tang\frac{\pi}{n}.\frac{(\rho + a)}{2}\tang\frac{\pi}{n},$$
$$= \varpi Hb(\rho + a)\tang\frac{\pi}{n}\left[\left(\rho + \frac{a}{2}\right)\tang\frac{\pi}{n} - \frac{\rho + a}{2}\tang\frac{\pi}{n}\right],$$
$$= \frac{1}{2}\varpi Hb\rho(\rho + a)\tang^2\frac{\pi}{n}.$$

Si nous remettons ces diverses valeurs dans l'expression de R, il vient :

$$R = -\frac{1}{ab}.\,\varpi Hb(\rho + a) + \frac{6}{ba^2}.\,\frac{1}{2}\varpi Hb\rho(\rho + a)\tang^2\frac{\pi}{n}.$$

La hauteur b disparaît d'elle-même, comme il était aisé de le prévoir, et il reste simplement :

$$3\tang^2\frac{\pi}{n}.\left(\frac{\rho}{a}\right)^2 + \left(3\tang^2\frac{\pi}{n} - 1\right)\frac{\rho}{a} - \left(1 + \frac{R}{\varpi H}\right) = 0$$

Cette équation du second degré, ayant son dernier terme négatif, fournira des racines réelles et de signes contraires. On aura donc toujours, sans ambiguïté, une valeur unique, réelle et positive, pour le rapport de l'épaisseur cherchée a au rayon donné ρ du puits.

On admet que le chêne ordinaire peut travailler à $0^{kg},8$ et le sapin à $0^{kg},6$ par

Digitized by Google

On rend en outre toutes les parties solidaires, en établissant dans les angles des longrines qui règnent du haut en bas du puits. Il convient aussi de réunir consécutivement les cadres au moyen d'écoins assujettis à l'aide de forts crampons.

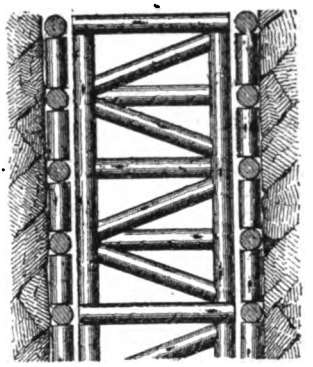


Fig. 196. — Cuvelage en bois (coupe verticale).

On soulage le poids de l'ensemble en établissant de distance en distance des *cadres porteurs*, appelés aussi *cadres à oreilles*, *rouets*, *roues*, ou *roulisses*, dont les diverses pièces, plus longues que les côtés du polygone de section droite, pénètrent dans le sein de la roche, où elles sont logées dans des potelles pratiquées à cet effet. De tels cadres sont dans l'impossibilité de descendre sans se cisailler préalablement.

On se contente parfois, plus simplement, de cadres *colletés au ferme*, c'est-à-dire mis en serrage avec des coins, de manière à déterminer contre le massif un effort normal N assez grand pour que le frottement fN, qui en serait la conséquence si le glissement devait se produire, soit suffisant pour équilibrer le poids de la portion de cuvelage qui repose sur ce cadre.

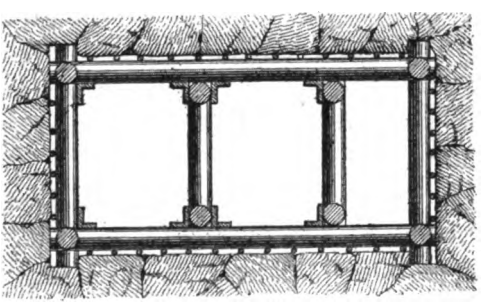


Fig. 197. — Cuvelage en bois (coupe horizontale).

Certains cadres colletés prennent une importance exceptionnelle

millimètre carré. Mais avec des pièces de choix, telles que celles que l'on emploie exclusivement pour ces ouvrages essentiels, on peut augmenter ces valeurs de moitié, en les portant à $1^{kg},2$ et à $0^{kg},9$. Dans ces conditions, $\frac{R}{\varpi}$ devient égal à 1200 ou à 900 pour ces deux espèces de bois.

Digitized by Google

sous le nom de *trousses picotées*. Mais leur description et leur pose se rattachent directement à la méthode du fonçage des avaleresses dans les terrains aquifères, dont nous nous occuperons plus loin (N° 342).

285 — Le muraillement est souvent précédé de la pose de boisages provisoires, que l'on établit d'après les mêmes données, mais avec une simplicité plus sommaire.

Je citerai en particulier un mode assez original qui a été employé dans le bassin de la Ruhr. Il permet d'éviter l'obligation de boiser d'une manière polygonale (seule forme compatible cependant avec les boisages ordinaires), une section destinée à recevoir de la maçonnerie suivant un profil courbe. On emploie à cet effet quatre arcs de 90 degrés, formés chacun de huit planches de sapin superposées, courbées et maintenues par un tendeur, que l'on dispose suivant la corde de ce quadrant (fig. 198). Quand ces arcs sont mis en place, on desserre les tendeurs. L'élasticité distend alors le bois, qui fait ressort et s'applique fortement contre les parois.

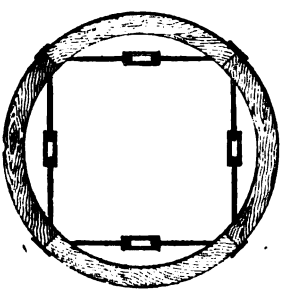


Fig. 198. — Cuvelage provisoire.

En ce qui concerne le prix de revient du boisage des puits, rien n'est plus variable d'après les conditions d'établissement. Afin de fixer cependant les idées par un exemple, on peut admettre un chiffre de 80 francs par mètre courant, en terrain non aquifère, pour un puits rectangulaire de 4 mètres sur $1^m,30$ divisé en deux compartiments.

Digitized by Google

§ 5

BOISAGE DES TAILLES ET DES POINTS SINGULIERS

286 — *Boisage des tailles.* — Le mode de boisage des tailles est ordinairement simple [1]. On y soutient le plafond à l'aide de pièces placées debout, qui portent les noms de *buttes*, *billes*, *étançons*, *chandelles*, *piquets* (fig. 199). Lorsqu'elles sont très clairsemées, on les dispose sans aucun ordre systématique; pour déterminer leur emplacement, le mineur interroge, d'après le son du marteau, la solidité du faîte. Mais souvent les buttes sont rangées en lignes parallèles et également espacées, de manière à dessiner un quinconce.

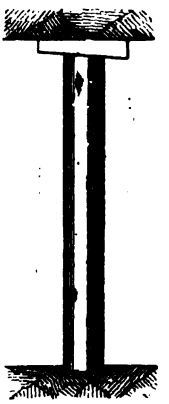


Fig. 199. — Butte.

Ces pièces, ordinairement restreintes à une longueur de 2 mètres environ, atteignent et dépassent exceptionnellement 5 mètres. Dans le filon vertical de pyrite aurifère de Morro Velho (Minas-Geraës, Brésil), on voyait un immense espace vide de 100 mètres sur 200 mètres, boisé à l'aide d'une forêt de poutres de 8 à 10 mètres de longueur sur $0^{m},40$ d'équarrissage, qui a fini par un immense effondrement [2]. Ces cas extrêmes ne sont pas à imiter. La longueur des pièces reste d'ailleurs limitée par la condition que l'on puisse leur faire franchir les coudes des galeries, et les manœuvrer dans les chantiers.

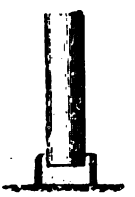


Fig. 200. Butte.

Pour poser une butte, on la dresse contre le plafond, et on la chasse avec la tête de la hache de manière à l'amener dans la position perpendiculaire à la paroi.

[1] On consultera utilement sur ce sujet le *Traité d'exploitation des mines* de M. Cambessédès (3e fascicule, 73 à 148).

[2] De Bovet, *Annales*, 8e, III, 135.

Digitized by Google

Un écoin sert à la mettre en serrage au faîte [1]. On a pratiqué à la sole une petite potelle pour assujettir le pied de la pièce. D'autres fois, celui-ci repose sur un bout de planche, ou sur un tas de menu maintenu par un cercle de fer. Il suffit alors, pour déboiser, d'ouvrir ce cercle qui est fermé par un boulon. Le menu s'échappe par la pression, la butte se desserre et tombe (fig. 200).

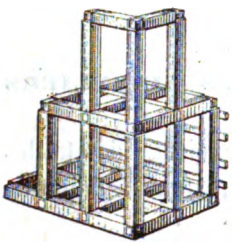
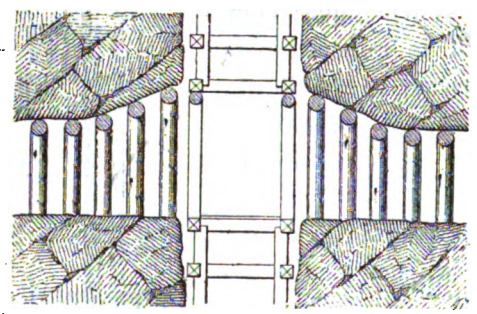


Fig. 201.
Boisage parallélépipédique.



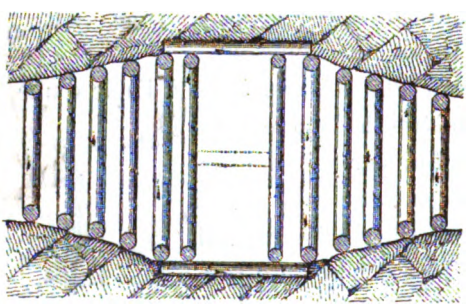


Fig. 202 et 203.
Accrochage boisé (coupes verticale et horizontale).

287 — Pour faciliter le montage et le démontage du soutènement des tailles, les Anglais font un grand usage de piles rectangulaires de cadres de bois placés de champ, avec une base de menu. On les appelle *choks* ou *cogs* [2].

Dans les tailles de Comstock (Nevada), on maintient des espaces vides considérables à l'aide de réseaux parallélépipédiques en bois de $0^m,30$ d'équarrissage (fig. 201). Mais on leur a dû parfois des incendies formidables, dont l'un a fait plus de cinquante victimes. La dépense occasionnée par ce système est en outre importante.

[1] Il est imprudent de s'accrocher aux boisages quand on circule dans des montées difficiles, à moins d'être assuré à l'avance de leur solidité. Un bois mal assujetti peut céder en entraînant la chute de l'homme et l'éboulement du toit.

[2] Boisages parallélépipédiques des mines de Menominee au Lac Supérieur, *Trans. americ. min.*, July 1887.

Digitized by Google

Ajoutons enfin qu'avec des plafonds inconsistants, le boisage des tailles admet des combinaisons de garnissages plus ou moins analogues à ceux que nous avons décrits pour les galeries. Le ciel est souvent revêtu d'une série de *flandres* soutenues sur des buttes. Cet ensemble présente naturellement beaucoup moins de solidarité qu'un système de cadres entretoisés, plus rarement employé d'ailleurs.

288 — *Boisage des points singuliers.* — Dans les *croisements* de galeries rectangulaires, on place aux abords du carré d'intersection quatre cadres de tête, sur lesquels se posera un garnissage pour le plafond.

Pour un *accrochage*, c'est-à-dire la rencontre d'une galerie et d'un puits (fig. 202 et 203), on évase progressivement la largeur de la galerie, jusqu'à la raccorder avec celle du puits. On relève également son plafond, de manière à établir un pan coupé entre le faîte horizontal et la paroi de la fosse. Cette portion est boisée avec des cadres de dimensions progressivement croissantes. Quant à la section du puits, elle reste constante; mais ses cadres doivent être interrompus devant l'ouverture unique, ou les deux ouvertures de la recette. On se contente de revêtir les deux autres faces de rondins assujettis par deux longrines, qui règnent dans les angles sur toute la hauteur de cet intervalle. Ces pièces sont prises entre deux cadres porteurs, que l'on établit au pied et au sommet de l'ouvrage.

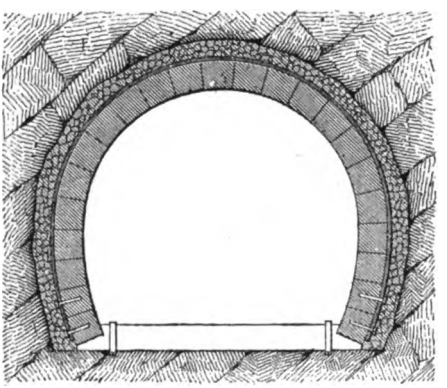


Fig. 204. — Accrochage voûté en bois.

On emploie aussi pour cet usage les voûtes en bois (fig. 204). C'est un appareil coûteux, mais on ne doit pas regarder à cet inconvénient pour une étendue aussi limitée. Il est très solide, car le

Digitized by Google

bois résiste bien mieux à l'écrasement, sous un petit volume, qu'à la flexion sur des longueurs importantes. On évitera ainsi des réparations, qui seraient extrêmement fâcheuses sur le point où se trouve concentrée la plus grande activité de la mine.

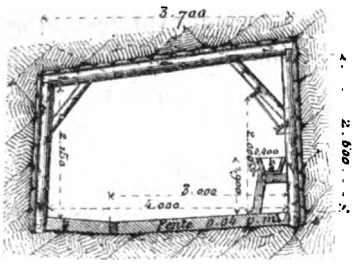


Fig. 205. — Écurie boisée.

Une *écurie* (fig. 205) se boise comme une galerie à grande section. Elle doit être bien aérée, sous peine de concentrer une atmosphère ammoniacale insupportable. Des grilles en fer sont préférables aux portes, quand on ne redoute pas les refroidissements pour les chevaux en sueur. On doit disposer le plancher en pente, afin de préserver la litière de l'humidité. Cependant certains hippologues condamnent ce dispositif (¹).

Une *chambre de manège* ou de *baritel* (fig. 206) se boise en carré

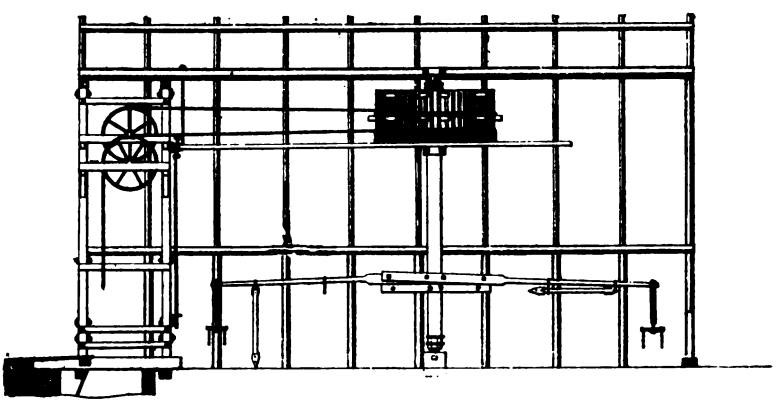


Fig. 206. — Baritel (coupe verticale).

ou en hexagone, à l'aide de fermes méridiennes de charpente reliées à l'axe de rotation. Le cheval y décrit une trajectoire circulaire inscrite dans ce périmètre.

(¹) Colonel Hennebert, *L'écurie horizontale*, Paris, in-8°, 1877. — Boissier, *Écuries souterraines*, Alais, p. 138. — Voy. plus loin, N° 298.

Digitized by Google

Les *cloches* qui viennent à se produire dans le plafond des espaces vides sont ordinairement remblayées (N° 479), et ce soin doit être pris d'urgence pour les mines à grisou. Mais, en l'absence de ce gaz, on les a quelquefois boisées à l'aide d'une sorte de trémie renversée, formée de cadres horizontaux de dimensions décroissantes, dont chacun reporte la pression sur celui qui lui est subordonné, avec un garnissage complet pour le cadre supérieur.

Digitized by Google

CHAPITRE X

MURAILLEMENT ET BLINDAGE

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LE MURAILLEMENT

289 — Les revêtements souterrains se font, soit en moellons bruts, soit en briques. Ces dernières sont des parallélépipèdes rectangles, dont les côtés présentent les rapports du simple au double et au quadruple, pour faciliter leur juxtaposition dans tous les sens. Elles ont ordinairement cinq centimètres et demi, sur 11 et 22 centimètres. En supposant que les briques soient séparées par un joint de mortier de 1 centimètre, le nombre de celles qui entreront dans 1 mètre cube sera :

$$\frac{1}{(0{,}055 + 0{,}005)\ (0{,}110 + 0{,}005)\ (0{,}220 + 0{,}005)} = 644,$$

ce qui oblige à compter dans les achats sur 700 briques, en nombre rond, à cause des incuits et des déchets. Le poids d'une brique est d'environ 2 kilogr. 300. Le mètre cube, si l'on tient compte du mortier, pèse 1 800 à 2 000 kilogrammes.

Les briques doivent être assez cuites pour ne pas se déliter dans l'humidité, sans atteindre toutefois la température de la vitrification, car alors les surfaces ne font plus prise avec le mortier et le retrait leur fait perdre leur calibre. On doit éviter dans cette fabrication les argiles mélangées de parties calcaires. Celles-ci donnent, par

Digitized by Google

la cuisson, de la chaux caustique qui se délite sous l'influence de l'humidité et fait éclater la brique par sa dilatation, ou se délaye en laissant des vides qui affaiblissent la résistance. Le prix, très variable, peut s'abaisser à 10 francs le mille, avec des briques cuites en tas sans fours spéciaux, de même qu'il peut s'élever à 20 et même 25 francs, dans des conditions moins économiques.

290 — Pour le mortier, on emploie souvent à l'intérieur des mines la chaux hydraulique, afin qu'il puisse faire prise dans l'eau au lieu de s'y délayer. Il doit être gâché serré, avec peu d'eau. En vue d'éviter d'ailleurs que celle-ci vienne à être pompée par des matériaux poreux, on a soin de les mouiller au moment de s'en servir. Il entre au plus, en volume, un quart de mortier dans la maçonnerie de briques. Les joints doivent être minces, mais bien liaisonnés. On pose les briques à bain flottant de mortier, pour qu'elles s'y fassent leur place sans laisser aucun vide, mais en les comprimant légèrement afin de réduire autant que possible l'épaisseur du joint. La proportion sera plus élevée avec les moellons, qui présentent des surfaces moins régulières.

Le mortier peut revenir à 10 francs le mètre cube. Pour confectionner 1 mètre cube de maçonnerie, il faut en général une demi-journée d'un maçon et de son aide. Le prix revient à 11 ou 12 francs pour les moellons, 16 à 18 francs avec les briques, fournitures et main-d'œuvre comprises. L'écart s'accentue beaucoup quand on utilise comme moellons des pierres fournies par les travaux au rocher. En raison d'une telle différence, on réserve souvent les briques pour les parties qui exigent une certaine précision, comme les voûtes, en se contentant de moellons pour les piédroits.

291 — On fait certaines maçonneries en *pierres sèches*, en supprimant le mortier [1]. Ce système n'est autre chose qu'un remblai très soigné. Il présente sur le muraillement proprement dit une économie évidente, et il fonctionne convenablement lorsqu'il s'agit, non d'établissements durables, mais de soutènements provisoires menacés de poussées presque irrésistibles.

[1] Cambessédès, *Traité d'exploitation des mines*, 3e fascicule, 136.

Digitized by Google

On communique de la solidité à l'ensemble en disposant en *parpaings*, c'est-à-dire perpendiculairement au parement, les pierres les plus longues, ou encore de vieux bois.

Ce genre de revêtement s'emploie souvent pour le remblayage, en dressant un mur le long de l'espace à réserver, et jetant à la pelle par derrière des matériaux informes [1]. S'il s'agit de ménager une galerie dans des remblais à proximité d'un massif inexploité, l'on pourrait être tenté d'utiliser pour cela un parement de roche, afin de n'avoir à dresser qu'un seul mur au lieu de deux. Mais cette combinaison, qui serait rationnelle avec une véritable maçonnerie, doit être écartée pour les constructions en pierres sèches, sujettes à un tassement sensible. Les deux massifs, s'ils sont de même nature, s'affaisseront ensemble et seront alors suivis par le toit sans inconvénient trop notable. Dans le cas contraire, la roche ne pouvant céder tandis que le mur qui lui est parallèle diminuera de hauteur, le plafond se brisera nettement en raison de ce porte-à-faux.

292 — Les constructions souterraines se rattachent à trois types essentiels : le *massif*, la *voûte*, le *système hélicoïdal*.

Le premier procède par joints horizontaux, ou plutôt normaux à la direction présumée des efforts, laquelle peut être oblique. D'autres fois, pour obtenir plus d'union, on emploie à dessein des matériaux irréguliers, enchevêtrés dans tous les sens, au lieu de ménager des plans de joints.

Les voûtes s'établissent avec simplicité, et sans recourir en général aux savantes théories auxquelles ces appareils ont donné lieu. Dans le cas actuel en effet on ne posséderait, pour appliquer ces méthodes, presque aucune donnée sur les forces réellement appliquées. On procède dans la pratique à l'aide d'analogies et d'hypothèses, en exagérant d'ailleurs les épaisseurs de manière à opérer, autant que possible, à coup sûr.

[1] Dans les carrières des environs de Paris, ces murs à sec soutenant les remblais sont désignés sous le nom de *hagues*. On les interrompt de distance en distance par des *piliers à bras*, colonnes formées par la superposition de gros moellons, grossièrement taillés

Digitized by Google

Il faut apporter un soin particulier à ne laisser aucun vide derrière l'extrados. En effet, loin de soulager ainsi la voûte sur ces points, on l'exposerait plutôt à éclater sous la pression transmise par les autres parties. De plus, le terrain finirait toujours, un jour ou l'autre, par venir au contact, et ce serait peut-être alors avec un choc de nature à compromettre l'existence de l'appareil. On coince la voûte contre le rocher avec des blocs de pierre, ou bien encore on bourre des débris ou du béton dans tous les vides. On a soin de retirer soigneusement les bois, qui pourriraient à la longue, et produiraient alors ces vides que l'on cherche à éviter.

On pose les voussoirs sur des couchis de bois, supportés eux-mêmes par des cintres en fer à talon, que l'on accroche aux piédroits. Quant à la clef de la voûte, elle ne saurait être introduite verticalement, comme pour les édifices ordinaires, dont le dessus reste libre. Ici la roche s'y oppose. On clave en reculant et introduisant la clef, non plus de haut en bas, comme un coin dans une fente, mais horizontalement, comme un tiroir dans ses coulisses. Cette fin d'ouvrage s'exécute avec du mortier à prise rapide, et même du ciment quand il est nécessaire. On adopte souvent une épaisseur de $0^m,45$; c'est-à-dire deux longueurs de briques. Les piédroits peuvent aller jusqu'au double, et on les renforce de $0^m,20$ dans la sole.

Le système hélicoïdal a été imaginé pour le revêtement des puits en briques. Au lieu de procéder par anneaux horizontaux, dont chacun peut exiger, pour se fermer, que l'on brise une brique, ce qui nuit à la netteté de l'ouvrage, on dispose une file non interrompue de ces éléments suivant une seule et même hélice, qui a pour pas leur épaisseur augmentée du joint de mortier. Si la maçonnerie doit reposer sur une roulisse en charpente, on commence par y pratiquer en creux un hélicoïde de vis à filet carré, qui présente lui-même ce pas, et dans lequel s'emboîtera la construction.

Digitized by Google

§ 2

MURAILLEMENT DES GALERIES, DES PUITS, DES POINTS SINGULIERS

293 — *Muraillement des galeries.* — Pour le muraillement des galeries[1], on procède quelquefois par arceaux discontinus, afin d'économiser la maçonnerie en soutenant le toit à la manière des cadres de charpente. Mais cette solution doit être écartée, à cause des nombreux angles rentrants qui échappent à la ventilation et peuvent former des nids de grisou. L'économie est faible d'ailleurs, et cette discontinuité très gênante pour la circulation.

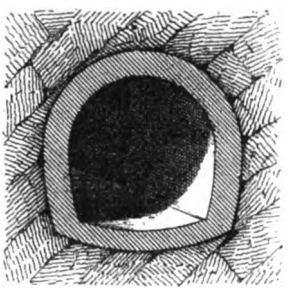


Fig 207. — Galerie en plein cintre avec radier.

La section *complète* d'une galerie muraillée (fig. 207) comprend d'abord deux *piédroits* appareillés en joints horizontaux ou légèrement arqués. On leur donne une hauteur égale à la moitié de leur intervalle, et on les recouvre d'une *voûte en plein cintre*. Un *radier*, en forme de voûte renversée très surbaissée, les réunit par le pied de manière à résister à la poussée de la sole.

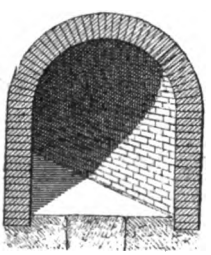


Fig. 208. — Muraillement en plein cintre.

Dans la section que nous appellerons *ordinaire*, comme étant la plus répandue, on supprime le radier, en se bornant aux piédroits et au plein cintre (fig. 208). Cette forme, de même que le trapèze pour le boisage (N° 275), utilise très convenablement l'aire de la section, en vue de la circulation de l'homme et des véhicules.

[1] Gatzschmann, *Anleitung zur Grubenmauerung*, Schneeberg, 1831. — Cambessédès, *Traité d'exploitation des mines*, 3e fascicule, 115. — Gatto Morio, Considerazioni tecniche sulla stabilità dei sotteranei nella lavorazione per pilastri e gallerie, *Annuario della Società dei licenziati della Ri Scuola mineraria*, Caltanissetta, 1882, 23.

Digitized by Google

Si le terrain présente une solidité suffisante, on supprime les piédroits (fig. 209), et l'on se contente d'une voûte en plein cintre ou surbaissée, suivant les cas, qui prend ses naissances dans la roche même. De tels ouvrages ont été parfois appareillés sur des

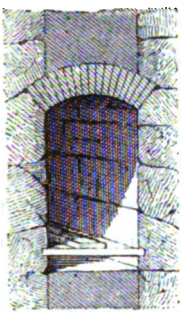


Fig. 209.
Voûte sans piédroits.

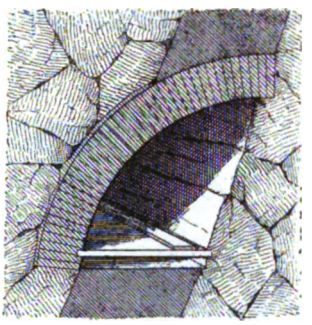


Fig. 210. — Voûte déversée.

dimensions remarquables. Aux mines d'Almaden (Espagne), on réunit dans une même exploitation deux des trois filons qui composent le gîte, en enlevant l'entre-deux qui est d'une épaisseur insuffisante, et jetant, du mur de l'un des filons au toit de l'autre, des voûtes surbaissées atteignant jusqu'à 22 mètres de portée.

Lorsque la stratification présente un certain pendage, la voûte se trouve déjetée sur le côté (fig. 210).

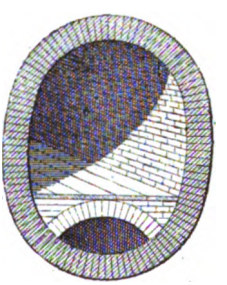


Fig. 211. — Muraillement en ellipse complète.

Dans les terrains aquifères, l'égalité de la transmission de la pression dans tous les sens prime l'influence, ordinairement prépondérante, de la pesanteur, et conduit à préférer la continuité géométrique du profil, en effaçant la distinction des piédroits, de la voûte et du radier. On cintre alors la section en *ellipse complète* (fig. 211), ou en *courbe à plusieurs centres*, composée d'arcs de cercles qui se raccordent par leurs tangentes. On rencontre également des ellipses incomplètes (fig. 212).

Digitized by Google

294 — Un muraillement de galerie ordinaire revient à 40 ou 50 francs par mètre courant. C'est donc quatre ou cinq fois la dépense d'un boisage ordinaire (N° 281). En revanche la durée est considérablement augmentée. Il y a lieu d'ailleurs de tenir compte de ce que la maçonnerie, dans un terrain qui a cessé de donner d'une manière notable, n'entraîne que des réparations sans importance, tandis que celles du boisage croissent plus que proportionnellement au temps. Mais si l'on commettait la faute de murailler trop tôt dans une masse en mouvement, au lieu d'y établir d'abord un boisage qui plie et cède, tout en conservant son intégrité, la maçonnerie, qui est complètement dénuée d'élasticité, se fendrait et perdrait sa solidité.

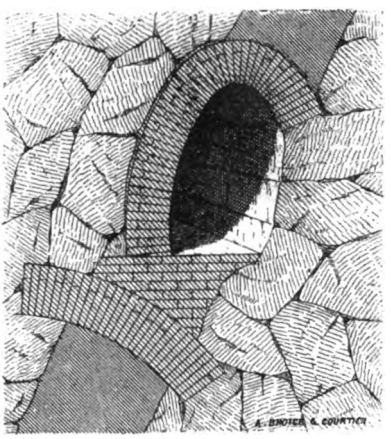


Fig. 212. — Ellipse incomplète.

295 — *Muraillement des puits.* — Le revêtement des puits (1) se fait souvent en briques. Très exceptionnellement, on emploie la pierre de taille (2), fréquemment le moellon piqué. On a aussi essayé des anneaux alternatifs de moellons et de briques (3). On attendait de cette combinaison un certain degré de souplesse, qui manque totalement à la maçonnerie et que le bois possède à un degré marqué; qualité plus nécessaire encore dans les puits que pour les galeries, en raison de l'importance de l'ouvrage et des difficultés de la réparation. On a également employé des moellons artificiels de béton, et même un béton monolithe coulé d'une manière continue pour assurer la prise de toutes ses

(1) Guillemin. Note sur le muraillement des puits aux mines de Flins, 1827.

(2) *Bull. min.*, 2e, VI, 12. — *Rev. univ. d. m.*, 1re, I, 386.

(3) *Bull. min.*, 2e, III, 723, Chansselle. — On a associé, dans le revêtement du puits neuf de Mégecoste, des anneaux de brique et de pierre de Volvic, pour profiter à la fois de la solidité des unes et de la facilité de réparation des autres.

Digitized by Google

parties derrière un moule cylindrique que l'on remonte au fur et à mesure de l'accroissement de l'ouvrage [1].

On a enregistré les résultats suivants, relativement à la résistance et au prix de revient de ces divers matériaux :

MATÉRIAUX	RÉSISTANCE A L'ÉCRASEMENT par centimètre carré	PRIX DU MÈTRE CUBE
	kilogrammes	francs
Moellons de grès houiller de Saint-Étienne.	272	45
Moellons de mortier de ciment	120	40
Moellons de béton Coignet.	94	38
Briques-moellons.	38	20

296 — Au lieu de laisser la maçonnerie se charger elle-même du haut en bas, on cherche à soulager les diverses travées du poids de celles qui les surmontent, en le reportant, au moins en partie, sur la roche.

Un premier moyen consiste pour cela dans l'emploi de roulisses, formées de sommiers d'un fort équarrissage, qui pénètrent dans des potelles, et supportent la travée de muraillement comprise entre elles et la roulisse immédiatement supérieure.

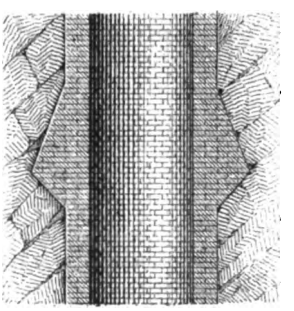


Fig. 213. — Ceinture d'un cuvelage.

On peut également renforcer en forme de double tronc de cône l'épaisseur de la maçonnerie (fig. 213). Avec ce dispositif, il faudrait, pour permettre au cuvelage de descendre, cisailler toute la surface de raccordement de ce renflement avec le cylindre, et cette surface peut devenir aussi grande que l'on voudra.

[1] *Bull. min.*, 2e, III, 723, Chansselle. — Buisson (Muraillement des puits de mine en béton de ciment, *CRM*, 1888, 43. — Emploi d'un cintre mobile et d'un béton de ciment, *Ibidem*, 1887, 94). — Maussier, Muraillement des puits en dalles et béton de ciment, *Ibidem*, 1887, 129. — Desailly, Réparation d'un éboulement dans le puits n° 3 de Liévin, *Annales*, 9e, VII, 304.

Digitized by Google

297 — L'épaisseur d'un revêtement cylindrique est au moins de 25 à 30 centimètres avec des moellons, et de 30 à 50 centimètres pour les briques [1]. Lorsque la section est circulaire, la maçonnerie est disposée suivant le mode hélicoïdal (N° 292). On y ménage quelquefois une gouttière en hélice ou *gargouille* (fig. 214) refouillée dans l'épaisseur, pour recueillir, avant qu'ils se résolvent en gouttes, les suintements qui suivent la surface par capillarité. Des bâches, disposées de distance en distance,

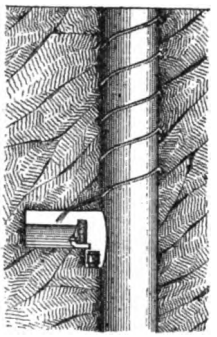


Fig. 214. — Gargouille.

[1] On peut déterminer l'épaisseur E à donner à un revêtement de diamètre intérieur D, immergé dans un milieu aquifère dont la hauteur piézométrique au-dessus de cette travée sera désignée par H.

Séparons pour cela par la pensée, au moyen d'un plan méridien, les deux moitiés d'un tronçon d'un mètre de hauteur. L'un d'eux supporte sur sa surface courbe un ensemble d'efforts normaux, qui ont pour somme de projections sur la perpendiculaire au plan méridien, le produit de la projection D + 2E de cette surface, par la pression ϖH qu'elle subit par unité de superficie. D'autre part, 2E représente la surface d'appui des deux moitiés de la maçonnerie l'une contre l'autre, et par suite 2ER l'effort qu'elles sont capables de supporter, si R désigne le coefficient de fatigue admissible par mètre carré, pour la nature de matériaux que l'on emploie. On posera donc l'équation :

$$\varpi H (D + 2E) = 2ER,$$

d'où l'on tire :

$$E = \frac{\varpi HD}{2(R - \varpi H)}.$$

On admet pratiquement pour R environ 30 0/0 des coefficients de résistance à la rupture, mentionnées dans le tableau précédent (N° 295).

La formule de Lamé, basée sur une analyse plus approfondie, est la suivante :

$$E = \frac{D}{2}\sqrt{\frac{R + p}{R + 2p' - p} - 1},$$

en appelant p la pression intérieure et p' la pression extérieure.

(Dweshauvers-Dery, *Principes de la résistance des matériaux*, 113. — Contamin, *Cours de résistance appliquée*, 106, 111.)

La théorie rigoureuse de l'équilibre de l'anneau repose sur l'emploi des fonctions elliptiques, mais son application prend plus de netteté pour les revêtements métalliques que pour ceux en maçonnerie. (Maurice Lévy, *Comptes rendus*, XCVII, 694. — Halphen, *Ibidem*, XCVIII, 422. — Halphen, *Traité des fonctions elliptiques*, II, 232.— *Journal de l'École polytechnique*, 54e cahier, 183. — *Journal de mathématiques pures et appliquées*, 3e, X, 5.)

Digitized by Google

reçoivent cette eau, ce qui diminue d'autant la pluie dans le puits.

Si la section appartient au type rectangulaire, on adopte un profil formé de voûtes très surbaissées, qui ont pour cordes les côtés du rectangle fictif, et qui prennent leurs naissances les unes sur les autres. Lorsque ce rectangle est très allongé, l'on peut, comme aux puits de Brückenberg (Saxe), l'étrésillonner par des refends en maçonnerie (fig. 215).

Il est arrivé à Brassac qu'un fonçage a débouché dans de vieux travaux, et précisément sur leur limite; de telle sorte qu'une partie de la section circulaire se trouvait pratiquée à travers le

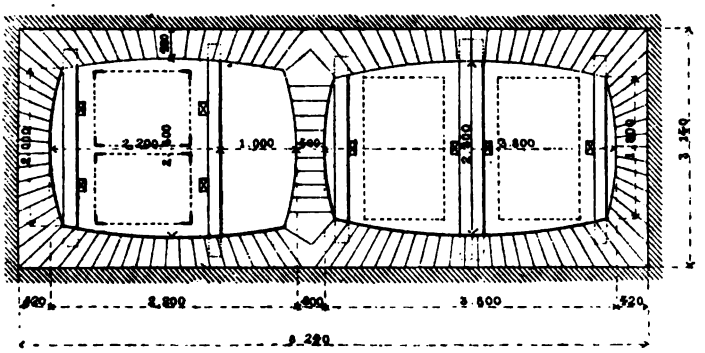


Fig. 215. — Puits de Heinitz.

solide, tandis que l'autre restait ouverte au milieu d'une masse sans consistance. Dans ces conditions, l'emploi des anneaux horizontaux devenait impossible. Ils se seraient, en raison des tassements, inévitablement cisaillés à l'aplomb de la surface de séparation. On a tourné la difficulté en constituant le cuvelage d'anneaux obliques de maçonnerie, en forme d'arcs d'ellipse, prenant leurs naissances sur la roche solide, et opposant leurs reins à la pression des masses incohérentes.

Un revêtement de maçonnerie peut coûter de 15 à 20 francs le mètre carré. Le prix du mètre courant est bien plus variable encore avec les dimensions, et peut aller de 100 à 300 francs environ. La disproportion avec la dépense du boisage est moins accusée que pour les galeries; elle n'est guère que du double, ce qui tient

Digitized by Google

à ce que l'on emploie pour les puits des bois de choix, et des cadres plus complexes que dans les voies.

298 — *Muraillement des points singuliers.* — La *rencontre de galeries* rectangulaires de même hauteur donne lieu à l'un ou l'autre des deux appareils connus sous le nom de voûte d'arêtes, ou de voûte en arc-de-cloître. En l'absence du grisou l'on peut, pour éviter cette complication (fig. 216 et 217), se borner à surexhausser l'une des galeries d'une hauteur égale à celle du cintre. C'est alors en plein piédroit que la seconde la rencontre. Il suffit, d'après cela, de terminer celle-ci par des têtes ordinaires.

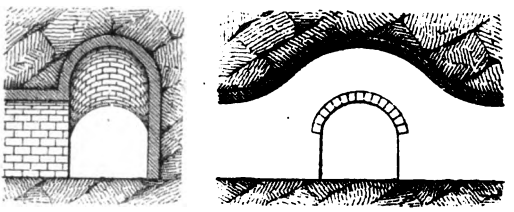


Fig. 216 et 217. — Surexhaussement d'un passage voûté.

Pour un *accrochage*, on se contente d'appareiller suivant l'intersection des deux cylindres. Quand l'extraction se fait par bennes, on dispose, au-dessus du pas-de-cuffat, une trompe de raccordement (fig. 218) entre la galerie et le puits, de manière à faciliter l'enlèvement du cuffat.

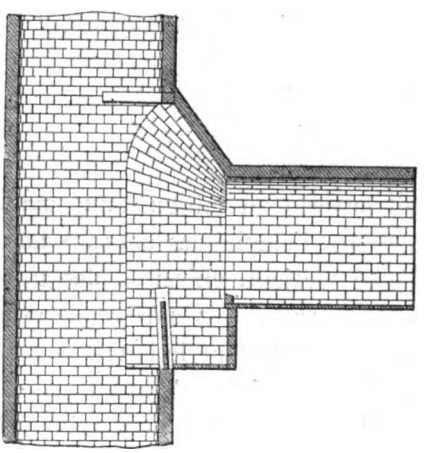


Fig. 218. — Accrochage muraillé.

Une *écurie* (fig. 219), une *chambre de machine à vapeur*, présentent ordinairement l'aspect d'un tronçon, relativement court, de tunnel à grande section, dont nous nous occuperons bientôt. Ces ouvrages doivent être établis avec un soin particulier, pour éviter les suintements. Le sol de l'écurie sera formé d'un bon béton, avec une

Digitized by Google

pente de 4 centimètres par mètre, suffisante pour l'écoulement des urines, mais assez faible pour que le poids de l'animal ne soit pas reporté sur les membres postérieurs [1]. Une très bonne ventilation y est nécessaire, ainsi qu'un bassin en pente pour laver à l'eau pure les pieds du cheval, quand il rentre du travail, imprégné d'eaux acides qui seraient capables d'attaquer la corne.

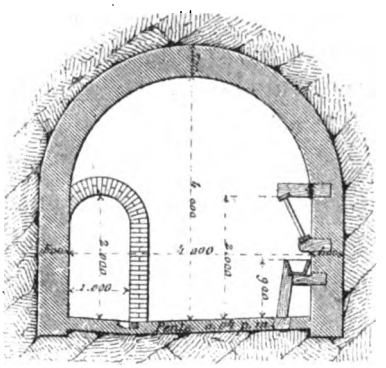


Fig. 219. — Écurie muraillée.

Un *baritel* ou *manège* peut être muraillé en forme de tour cylindrique, surmontée d'une voûte sphérique. Ces organes tendent du reste à disparaître de l'intérieur des mines.

Une *chambre de roue hydraulique* constitue une excavation étroite et relativement élevée. On lui donne une forme lenticulaire, et l'on appareille les grandes faces suivant des calottes sphériques très surbaissées, afin qu'elles présentent plus de solidité. On peut aussi, pour plus de simplicité, donner à la maçonnerie une configuration légèrement cylindrique. Si la roche se tient bien, l'on se bornera à murailler la rencontre de l'ouvrage avec le filon dans lequel il est établi (fig. 220 et 221).

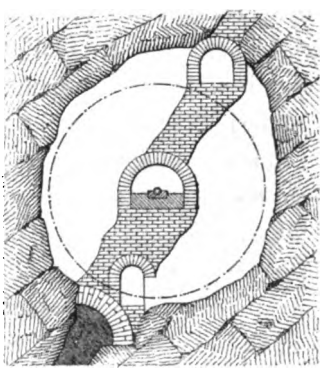


Fig. 220 et 221. — Chambre de roue hydraulique (coupes verticale et horizontale).

299 — Il n'y a pas lieu de s'appesantir ici sur le *muraillement*

[1] Voy. N° 288, note 1.

Digitized by Google

des tailles. Il se réduit en général, en ce qui concerne la maçonnerie proprement dite, à quelques rares piliers pour des points importants; à moins qu'il ne devienne, au contraire, la base fondamentale du système de soutènement, comme dans l'exemple, à peu près unique d'ailleurs, d'Almaden, dont nous décrirons avec détail la méthode d'exploitation (N° 541).

En revanche, le mode de soutènement en pierres sèches joue un grand rôle dans les tailles, mais il s'y rattache directement à la question du remblayage qui fera l'objet du chapitre XIX.

§ 3

BLINDAGE

300 — *Généralités sur le blindage*. — L'emploi des métaux pour les revêtements souterrains (1) se recommande par des avantages caractérisés. La matière première demeure à peu près inusable. Si on la retire au moment où l'on abandonne un ouvrage, les matériaux conservent encore leur valeur de vieux fer, lorsqu'ils ne sont plus immédiatement applicables dans des travaux analogues. En cas de forte pression, le fer plie, mais ne casse pas. Il permet les profils courbes, auxquels le boisage se refuse, en même temps que la brique ne s'y adapte que par approximation. La fonte peut également prendre par le moulage toutes les formes spéciales, ainsi que des épaisseurs arbitraires. Sa grande résistance spécifique permet d'économiser beaucoup mieux la section. Enfin le danger d'incendie se trouve absolument écarté. En revanche, on se trouve alors, dans le levé des plans souterrains, privé du secours de la boussole.

(1) Chansselle, Revêtements en fer (*Bull. min.*, 2e, III, 738). — Soutènements en fer de Seraing (*Rev. univ. d. m.*, 2e, IV, 315). — André Dumont, Une excursion dans le Nord et le Pas-de-Calais, Cadre métallique Tellier, *Mémoires de l'Union des ingénieurs de Louvain*, 1887. — Planchard, Emploi des chapeaux de fer à Commentry, *CRM*, 1889, 85. — Soutènement métallique à la houillère Minnary, *Ibidem*, 1894, 272. — Blindage de galeries, *Ibidem*, 1885, 120. — Mathet, Boisage en fer, *Ibidem*, 1888, 60.— Gerrard. Blindage de galeries aux houillères de Rochebelle, *Bull. min.*, 2e, XV, 391. — Cambessédès, *Traité d'exploitation des mines*, 3e fascicule, 120. — Köhler. Lehrbuch der Bergbaukunde, 458.

Digitized by Google

On reproche en outre aux blindages de puits leur complète raideur. En raison de la souplesse des cuvelages en bois, on en a vu se déjeter parfois de tout leur diamètre sans se rompre. Sous de pareils efforts, un revêtement métallique se serait inévitablement brisé. Pour cette raison certaines Compagnies minières, par défiance contre les colonnes métalliques, s'en tiennent en toute circonstance aux anciennes méthodes de fonçage à niveau bas avec cuvelage en bois, malgré les énormes dépenses qui en sont parfois la conséquence [1]. Il faut pourtant reconnaître que de réels progrès ont été réalisés en ce qui concerne la réparation de ces immenses tubes, quand ils subissent une fêlure. On y remédie alors, soit à l'aide de panneaux plaqués à l'intérieur, soit en y insérant une virole d'un diamètre moindre, et matant du plomb entre les deux enveloppes.

301 — *Blindage des galeries.* — Le mode le plus simple de l'emploi du fer pour le soutènement des galeries consiste à l'associer au bois, en posant sur deux rondins un chapeau formé d'un tronçon de vieux rail (fig. 222). Cette combinaison est très rationnelle, car le bois y travaille debout, c'est-à-dire dans les meilleures conditions de sa résistance, et le fer se substitue à cette substance pour supporter la pression transversale du plafond. De plus on diminue par là, en même temps que le calibre du chapeau, la profondeur des anfractuosités de la couronne, qui forme la région la plus dangereuse au point de vue des agglomérations de grisou. Le prix du mètre courant est ressorti au Creusot à 47 francs [2]. Il s'y abaisse même, dans la pratique courante, à 34 francs, si l'on tient compte de ce que les chapeaux peuvent resservir plusieurs fois, lorsque les montants sont

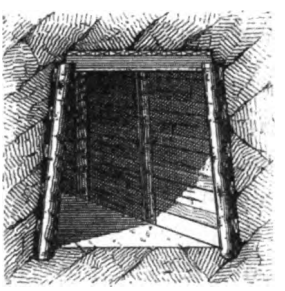


Fig. 222. — Chapeaux en rails.

[1] Le procédé de fonçage à niveau plein dû à M. Pœtsh permet maintenant l'emploi de cuvelages en bois.

[2] De Biauzat, *Bull. min.*, 2e, III, 563 et 569.

Digitized by Google

ruinés. Certaines galeries qui jouaient beaucoup, dans ce gîte redressé et rempli de remblais d'une nature défavorable, exigeant 50 francs environ d'entretien annuel, n'ont plus occasionné, avec le nouveau mode, qu'une dépense de 10 francs par an. A Lens, on a employé également des chapeaux formés de rails Vignole, légèrement cintrés pour mieux résister à la pression.

On peut aussi, comme dans plusieurs mines du Pas-de-Calais, associer le fer au muraillement en posant de vieux rails sur des montants en maçonnerie (fig. 231).

302 — On rencontre enfin des revêtements complètement métalliques. A Bois-du-Luc (Hainaut), les cadres sont composés de deux colonnes creuses en fonte, surmontées d'un chapeau de vieux rail. C'est un dispositif mixte, analogue aux deux précédents, et dans lequel chaque cadre revient à 36 francs.

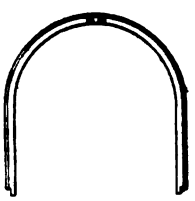


Fig. 223. — Galerie blindée. (Sarrebrück.)

On obtient plus de simplicité en constituant les anneaux uniquement en fer. On emploie dans les mines de Sarrebrück des cintres formés de deux fers à T (fig. 223), dont la nervure augmente la résistance. La partie droite dessine le montant, le quart de cercle qui la termine constitue le cintre quand on réunit les deux pièces au faîte à l'aide d'un manchon d'assemblage (1).

On préfère souvent fabriquer ces cadres avec des fers à double T à ailes inégales. On peut alors augmenter beaucoup la force de résistance d'un tel revêtement, en employant comme garnissage des rondins en bois, dont les extrémités sont logées entre les deux

(1) A Ronchamp, on réalise pour un cadre métallique analogue, le prix de revient suivant :

2 branches à 19 francs les 100 kil.	16 fr.	72
2 éclisses — — —	0	56
4 boulons à 0 fr. 19 pièce.	0	76
TOTAL. . .	18 fr.	04

A Liévin, on estime à 15 francs le prix d'un cadre du même genre pesant 85 kilogrammes.

Digitized by Google

ailes du T et qui solidarisent les cintres entre eux. Ceux-ci sont distants de $0^m,50$ à 1 mètre, et les rondins espacés ou jointifs selon la nature du terrain.

En terminant une partie droite très courte par deux quarts de cercle, on a obtenu des sections complètes.

On a disposé à Commentry (Allier), dans les parties exposées aux incendies, des cadres en trois pièces (fig. 224), revenant chacun à 13 fr, 50 (1).

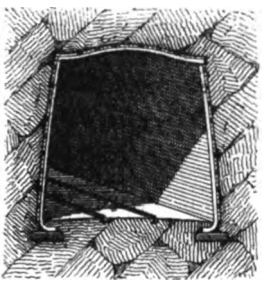


Fig. 224. — Galerie blindée. (Commentry.)

A Steierdorf (Banat), il a fallu, dans des terrains qui ne permettaient pas le déboisage, réaliser une disposition plus complexe (fig. 225), en inscrivant un cintre métallique complet dans un boisage provisoire, et remblayant l'intervalle (2). Le mètre courant est ressorti, avec cette combinaison compliquée, à 68 fr, 50.

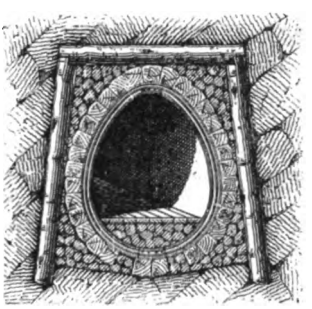


Fig. 225. — Galerie blindée. (Steierdorf.)

A Mariemont (Centre belge), on emploie dans des passées difficiles (3) des arceaux complètement circulaires, formés de rails courbés en arcs de 120° et réunis à l'aide de manchons d'assemblage. Sur ces cintres s'appuient des rails de mine rectilignes, dessinant les génératrices du cylindre. Quelques-uns de ces couchis sont disposés en forme d'entretoises destinées à maintenir les distances. Cet ouvrage revient à 100 francs le mètre courant.

Dans la galerie préparatoire du tunnel de la Manche (4), à laquelle

(1) *CRM*, 1878, 119.
(2) *Rev. univ. d. m.*, 1re, XXXVI, 137.
(3) *CRM*, juillet 1875, 7 et 9.
(4) Daubrée, *Annales*, 8e, I, 593.

Digitized by Google

le mode de perforation par la tarière Beaumont (N° 250) imposait une section rigoureusement circulaire, on cintrait toutes les travées aquifères au moyen d'anneaux métalliques de 30 centimètres. divisés en cinq segments et consolidés par des nervures. Des boulons, passés dans ces dernières, réunissaient les diverses parties de chaque anneau entre elles et avec le précédent. Le boulonnage tendait à écarter les panneaux et, par suite, à les serrer contre le terrain. Pour aveugler les joints, on avait soin d'appliquer préalablement, entre la roche et le bord des segments, des bandes longitudinales de tôle. Un mastic au minium achevait d'assurer l'étanchéité de l'assemblage.

303 — *Blindage des puits.* — Les puits sont revêtus à l'aide d'anneaux successifs (1). Cette question se rattache, par une analogie évidente, au tubage des trous de sonde; néanmoins la disproportion des diamètres apporte, en ce qui concerne l'application, des différences profondes. On peut, pour le blindage des puits, employer deux modes distincts : les viroles pleines ou les panneaux (2).

Les anneaux pleins ont une hauteur qui varie en général de $1^m,50$ à 2 mètres (3). Les collets doivent être dressés avec une

(1) Blindage du puits de Monthieux (*CRM*, 1885, 175. — *Bull. min.*, 2e, XIV, 555). — Plumier, Emploi de revêtement provisoire en fer dans le creusement des puits en terrain houiller, *Rev. univ. d. m.*, 1885, II, 607. — Monet, Pose de revêtement en fonte pour la réparation d'un cuvelage en bois, *Bull. de la Soc. des ing. sortis de l'Éc. des mines du Hainaut*, 1890.

(2) Parfois même des fers en U (*Rev. univ. d. m.*, 1re, XXXVI, 135). On se sert aussi de cercles en fer comme soutènement provisoire des puits (Chansselle, *Bull. min.*, 2e, III, 739). Le puits neuf de Grosménil (Haute-Loire) a été blindé au moyen d'anneaux formés chacun de quatre quadrants, que l'on introduit en leur imposant de force un léger supplément de courbure maintenu par des tirants. Après la mise en place on supprime ces derniers, et l'élasticité des arcs les applique contre la paroi. Nous avons cité un dispositif analogue pour le boisage (N° 285).

(3) L'épaisseur des cuvelages métalliques s'évalue souvent par la formule :

$$E = \alpha + \beta HD.$$

Elle n'est autre que celle que nous avons obtenue ci-dessus pour une question identique (N° 297, note), en négligeant dans le dénominateur ϖH devant R, qui est beaucoup plus important dans le cas des métaux, et avec adjonction arbitraire d'une constante α, pour ne pas tomber dans des épaisseurs illusoires, si pour de faibles diamètres la pression vient à décroître indéfiniment. A la vérité, l'on rencontre une certaine varia-

Digitized by Google

grande rigueur, dans un plan bien perpendiculaire à l'axe. Les joints se font au plomb; un petit grain d'orge circulaire est pratiqué dans les collets, et l'on y place une baguette de plomb qui s'écrase sous la pression. On a fait aussi à Trazegnies (Mariemont) des joints en caoutchouc. Il est permis de concevoir quelques inquiétudes pour la durée de cette matière organique. Cependant il est juste de reconnaître qu'elle n'a dans ces conditions à redouter ni frottements ni élévation de température.

Les viroles sont essayées au double de la pression qu'elles sont présumées devoir subir de la part des niveaux aquifères qu'elles sont destinées à tenir en respect. Cette épreuve ne pouvant guère se faire qu'à l'usine même, où se trouve installée une cuve propre à développer de dehors en dedans la pression hydraulique, on a soin de s'assurer, par le son du marteau, que le transport n'a déterminé dans le métal aucune altération.

Les grandes viroles sont transportées sur des trucs spéciaux, aussi peu élevés que possible pour permettre le passage sous les ponts du chemin de fer. Des diamètres exceptionnels ont même exigé, en raison de cet obstacle, pour une mine du bassin de Newcastle et pour la fosse N° 4 de la Compagnie de Liévin, l'installation de fonderies spéciales à l'orifice des puits.

304 — Le système précédent ne peut évidemment s'employer que depuis le bas jusqu'en haut du puits. On ne saurait s'en servir au-dessous d'une partie déjà tubée, à moins de se résigner gratuitement à une diminution du diamètre. Dans ces conditions, on a recours à la segmentation, procédé que rien n'empêche d'ailleurs d'appliquer sur toute la hauteur d'un puits.

A cet effet, on divise l'anneau en un certain nombre de panneaux

bilité dans les valeurs adoptées pour ces constantes. Je citerai par exemple les suivantes :

Puits Chaudron (Evrard, *Traité d'exploitation*, I, 285). . . .	$\alpha = 0{,}020$	$\beta = 0{,}000100$
Avaleresses (Evrard, *Traité d'exploitation*, I, 260).	0,009	0,000065
Panneaux (Burat, *Cours d'exploitation*, 172; Demanet, *Cours d'exploitation*, I, 22).	0,013	0,000042

Ces diverses valeurs supposent E, D et H exprimés *en mètres*.

Il est important de se reporter aux indications qui ont déjà été données ci-dessus (N° 297, note 1).

Digitized by Google

(fig. 226 et 227). Leur juxtaposition exacte ne compléterait pas tout à fait la circonférence, car on a soin de laisser entre eux un certain jeu, de 1 à 2 centimètres, destiné à être picoté pour réaliser l'étanchéité des joints. Les bords sont renforcés, suivant les génératrices et les arcs de cercle, par une surépaisseur de 10 à 15 centimètres de largeur.

Le revêtement est double. A l'extérieur, on dispose une première ceinture de panneaux, percés de trous ronds. Ces orifices servent à donner prise aux outils pour manier plus aisément ces pièces. En outre ils laissent tamiser l'eau, en évitant de la tendre en pression derrière une surface pleine, ce qui rendrait les manœuvres impraticables. Quand cette première couronne a été mise en place, on aveugle toutes les veines liquides au moyen de chevilles de bois enfoncées à force et recépées au niveau de la fonte.

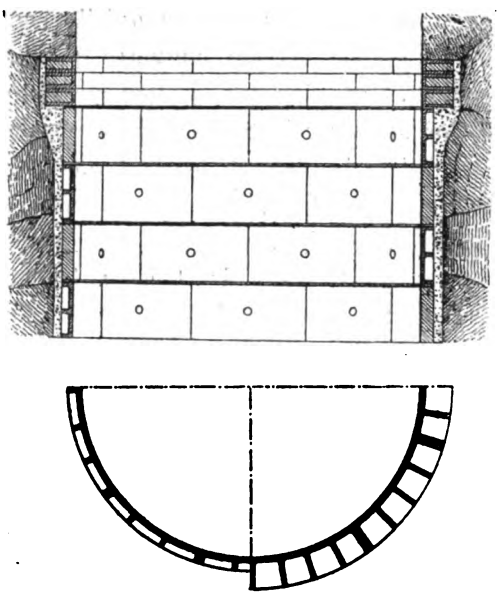


Fig. 226 et 227. — Cuvelage par panneaux (coupes verticale et horizontale).

C'est alors que l'on construit à l'intérieur le revêtement définitif, formé de panneaux pleins. On a soin de croiser ses joints avec ceux de la première ceinture, à la fois suivant les génératrices et les parallèles du cylindre de révolution.

Les panneaux sont à ergots, afin que l'on puisse revêtir l'intérieur d'une chemise de bois, formée de douelles que l'on glisse entre ces ergots. Cette cuirasse a pour but de protéger le métal contre les chocs qui peuvent se produire dans le service.

Digitized by Google

Lorsqu'un anneau est complet, on le soulève avec les grues, pour intercaler entre lui et le précédent une rondelle de plomb, sur laquelle on le redescend de manière que l'écrasement de ce métal par la pression fournisse un joint bien étanche.

On établit enfin à l'extrados un garnissage de béton, coulé entre la première ceinture et la roche. On obtient par là une liaison plus intime, en évitant les chocs que le terrain, s'il arrivait à jouer dans le vide, pourrait exercer contre la fonte en arrivant au contact.

305 — Les revêtements métalliques ont été parfois appliqués pour consolider par l'intérieur un cuvelage ancien, de fonte ou de bois [1].

Le tableau suivant [2] présente une série d'exemples de cuvelages en bois, en pierre et en métal, permettant de faire la comparaison de ces trois modes de revêtement.

[1] Barré, Nouveau cuvelage de Carling, *Annales*, 6e, XVII, 367. — *CRM*, 1878. 114; 1879, 49. — *Bull. min.*, 1re, XIV; 2e, VI. — *Bull. de la Soc. des ingénieurs de l'Éc. du Hainaut*, 1890.

[2] Dressé à l'aide des documents insérés par M. Pernolet dans l'*Agenda* Dunod pour les mines, 1882, 72

Digitized by Google

DÉSIGNATION			DIAMÈTRE EN MÈTRES		PROFONDEUR EN MÈTRES		PIÈCES DU CUVELAGE			
REVÊTEMENT	PUITS	RÉGION	FORÉ	UTILE	HAUTEUR CUVELÉE	BASE DU CUVELAGE	NOMBRE	HAUTEUR EN MÈTRES	ÉPAISSEUR EN MÈTRES minima	ÉPAISSEUR EN MÈTRES maxima
Boisage . . .	Lens	Pas-de-Calais	6,00	4,92	100,00	100,00	20	0,25 à 0,60	0,180	0,280
	Falk	Moselle	4,70	4,20	53,10	53,50	20	»	0,120	0,240
	Carling	Moselle	5,00	4,08	146,92	153,20	18	»	»	»
	Thiers	Nord	4,75	4,00	65,00	65,00	16	»	0,120	0,240
	Marles n° 2	Pas-de-Calais	4,54	4,00	73,50	73,50	16	»	0,150	0,150
	Freyming	Moselle	»	4,00	148,00	175,00	20	»	0,160	0,180
Muraillement.	Westphalia	Ruhr	7,00	5,00	82,35	82,35	»	»	1.000	2,500
Blindage. . .	Hetton	Newcastle	5,40	4,85	53,20	159,00	»	»	0,040	0,040
	Horloz	Liège	4,50	4,30	10,00	12,30	1	1,25	0,032	0,035
	Louvière n° 2	Belgique	4,50	4,25	12,00	13,50	1	1,00	0,030	0,035
	Providence (Fiennes)	Pas-de-Calais	5,00	4,08	11,00	187,00	12	0,40	0,030	0,030
	Jane	Sunderland	4,26	3,90	133,50	155,44	8	0,40 à 0,60	0,019	0,030
	Liévin N° 3	Pas-de-Calais	4,30	3,65	81,16	96,16	1	1,50	0,032	0,044
	Lhopital	Moselle	4,20	3,40	144,00	159,28	1	1,50	0,028	0,060
	Barillon	Ruhr	3,40	3,10	49,31	51,54	10	0,70	0,013	0,020

Digitized by Google

306 — *Blindage des tailles et des points singuliers.* — M. Johnson de Newcastle a proposé, pour soutenir le plafond des tailles, des buttes métalliques formées de deux parties cylindriques réunies suivant un plan oblique (fig. 228 et 229). Un manchon emboîtant cette zone établit leur solidarité. Si plus tard on vient à le soulever, la pression du toit fait glisser les deux pièces suivant le plan qui les sépare, et la butte se démonte d'elle-même. On transporte alors le système sur quelque autre point, pour l'y dresser de nouveau. Une chaîne réunit les deux portions, pour qu'elles ne s'égarent pas dans le trajet. Ces buttes ne sauraient guère figurer que dans les districts où le bois est particulièrement cher, et où la mine forme la dépendance directe d'une fonderie, afin que les pièces brisées puissent économiquement repasser au moulage comme vieilles fontes.

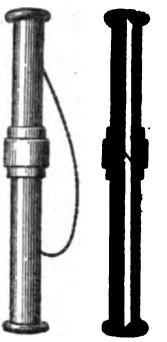


Fig. 228 et 229. Butte métallique (élévation et coupe verticale).

M. Dernoncourt d'Anzin avait également introduit dans le même but un appareil appelé *vis-botte* (fig. 230), qui a aujourd'hui disparu. Il se composait d'une culasse posée sur le sol, et d'une vis que l'on mettait en serrage contre un plateau appliqué sous le toit, en la tournant dans son écrou.

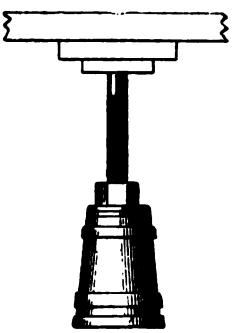


Fig. 230. — Vis-botte.

Ces organes sont compliqués, coûteux, encombrants, là où une extrême simplicité est nécessaire et où les buttes sont exposées à être perdues. Sauf dans des conditions exceptionnelles[1], il ne semble pas que l'emploi des métaux soit à recommander pour le soutènement des tailles, qui sont un ouvrage essentiellement éphémère. Il en est tout autrement des voies de commu-

[1] Baily, Rallongues métalliques pour le soutènement des tailles d'exploitation de mines (*Bull. min.*, 3e, I, 1015. — *Publication de la Soc. des ing. sortis de l'Ec. du Hainaut*, XIX)

Digitized by Google

nication, et particulièrement de celles qui sont appelées à une longue durée.

307 — Quant aux points singuliers, il n'y a pas lieu d'y insister avec détails. La grande facilité que présentent les métaux pour se plier à toutes sortes de formes rendra facile leur emploi dans les circonstances spéciales qui le motiveront.

On peut citer notamment dans le bassin houiller de Westphalie des recettes entièrement revêtues en fer.

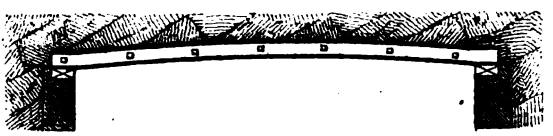


Fig. 231. — Soutènement métallique d'un accrochage.

D'autres accrochages (fig. 231) ont été plafonnés au moyen de vieux rails, dont les extrémités sont supportées par des piédroits en maçonnerie. On réalise très aisément de cette manière les grandes portées ui sont souvent réclamées par ces ouvrages.

Digitized by Google

CHAPITRE XI

PERCEMENT DES GALERIES DE MINE

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES GALERIES

308 — *Nomenclature des galeries.* — Les galeries de mine peuvent être classées, soit d'après leur emplacement dans le gîte, soit d'après les fonctions qu'elles sont appelées à remplir pour l'aménagement général.

Au point de vue géométrique, on distingue d'abord les galeries tracées suivant l'horizontale du gisement. Elles portent le nom de *galerie de direction*, *galerie d'allongement*, *galerie chassante*, *chassage*, *rue*, *niveau*, *costresse*, *costière*. Ces dénominations supposent du reste une longueur de quelque importance. On emploie en effet aussi des galeries de direction, essentiellement courtes, qui forment l'élément normal de certaines méthodes d'exploitation, et auxquelles nous réserverons la dénomination de *recoupe*.

Les galeries tracées horizontalement, mais perpendiculairement à la direction dans un gîte puissant, sont appelées *traverse*, *cul-de-sac*, *carrément*, *viaille*, *volée*.

Celles qui sont menées suivant la ligne de plus grande pente du gisement sont désignées sous les noms de *montage*, *remonte*, *remontée*, *descenderie*, *vallée*. Les plus raides prennent la dénomination de *fendue*, *cheminée*, *puits incliné*.

Les galeries tracées dans le plan du gîte, mais suivant une

Digitized by Google

droite quelconque autre que la direction ou l'inclinaison, sont appelées *demi-pente*, *diagonale*, *voie thierne*.

Viennent enfin les galeries que l'on pratique en dehors du gisement, pour des motifs spéciaux que nous développerons en parlant des méthodes d'exploitation. Elles sont connues sous les divers noms de *galerie au rocher*, *travers-bancs*, *bouveau*, *bowette*, *bacnure*.

Si l'on envisage, en second lieu, les galeries sous le rapport des services auxquels on les destine, il y a lieu de distinguer d'abord celles qui servent au transport des véhicules, sous le nom de *galerie de roulage*, *mère-galerie*, *voie de fond*, *voie maîtresse*, quand elles sont horizontales; *plan incliné* dans le cas contraire. Viennent ensuite les *galeries de traçage*, qui servent à préparer l'opération ultérieure du dépilage ; les *galeries d'aérage*, appelées aussi *voie d'air*, *chemin d'air*, *retour d'air*, *maillage*, *troussage*; enfin les *galeries de recherche*.

309 — Dans la section transversale d'une galerie, on distingue la *sole*, sur laquelle se place la voie ferrée; les *piédroits* ou parois latérales; le *plafond* ou *faîte*, que l'on appelle aussi le toit, bien qu'il soit préférable de réserver exclusivement cette expression pour désigner la roche superposée au minerai, laquelle ne forme pas nécessairement le *ciel* de l'ouvrage.

Une galerie type présentera par exemple $1^m,50$ de largeur à la sole et $2^m,00$ de hauteur. Très souvent cependant les dimensions sont plus restreintes; soit qu'on les ait établies par économie sur un moindre module, soit par suite de l'affaissement des bois, sous la charge du terrain.

Si l'aire seule de la section est déterminée *a priori*, comme dans les questions d'aérage, lorsqu'il s'agit de faire passer par seconde un volume donné sans dépasser une certaine limite de vitesse, il vaut mieux gagner sur la hauteur que sur la largeur; sans exagération, bien entendu. Par là en effet l'on facilite la circulation des hommes et des chevaux, et l'on diminue la portée horizontale des bois.

Certaines galeries présentent une section beaucoup plus grande que le type que nous venons de définir. Cela n'arrive, à la vérité,

Digitized by Google

que rarement dans les mines. C'est, au contraire, le cas normal du tracé des chemins de fer. L'ouvrage prend alors le nom de *tunnel*. Le présent chapitre est réservé aux *galeries de mine*. Nous consacrerons le suivant à l'étude des tunnels.

310 — *Orientation du percement.* — Pour diriger le percement d'une galerie, il en faut fournir au mineur la direction et la pente, d'après les mesures relevées sur les plans de mine, ou les calculs qui ont servi à asseoir le projet.

Pour donner la direction, on suspend une série de fils à plomb à des clous plantés dans le plafond. Ces fils dessineront le plan vertical de symétrie de la portion déjà percée; et c'est à partir de ce plan que l'on prendra des mesures transversales, pour dresser exactement la section et parer les piédroits.

Pour obtenir l'alignement, on éclaire de près les fils à plomb, afin de les rendre visibles. L'observateur, placé en arrière, fait déplacer par un aide le fil qu'il s'agit de suspendre à l'avancement, de manière qu'il disparaisse dans le plan de collimation des précédents.

Cette méthode suppose l'existence d'une amorce, que l'on n'ait plus qu'à continuer. On détermine ce premier élément, au point d'attaque, au moyen de la boussole. On peut également employer à cet effet des procédés très délicats. Je citerai comme exemple la marche suivie par M. Geach pour le tunnel sous-marin de la Severn [1].

Une lunette était installée sur le puits et repérée d'après des signaux extérieurs, de manière à pouvoir exécuter un tour complet dans un plan vertical, en visant dans toute l'étendue du diamètre du puits un fil établi à sa base, éclairé à la lumière électrique, et tendu par un poids dans une première travée d'une centaine de mètres, tracée approximativement. En rectifiant ainsi sa situation, M. Geach a pu se procurer un axe rigoureux d'alignement, à l'aide duquel on a ensuite procédé de proche en proche.

[1] Destiné à relier les comtés de Monmouth et de Gloucester sur 3 200 mètres de longueur sous-marine, et 7 409 mètres en tout, si l'on y comprend les rampes d'accès (*CRM*, 1882, 14).

Digitized by Google

311 — Quant à la pente, si elle est notable, on la marquera à l'aide de clous, plantés dans la paroi et supportant par l'intermédiaire d'un cordeau le cercle d'inclinaison. A partir de cette ligne, on prend ensuite des mesures verticales pour repérer la sole et le plafond.

Si, au contraire, il ne s'agit que de la pente excessivement faible nécessaire pour l'écoulement des eaux ou pour la facilité du roulage, et qui exige une grande précision dans l'exécution, l'on construit un niveau à perpendicule, au moyen d'une longue planche formant règle et posée de champ sur la sole. Un bras en potence y est assemblé à angle droit. Il porte à son extrémité le fil du perpendicule, pour lequel on a tracé tout à la fois le zéro qui représente l'horizontalité, et l'oblique suivant laquelle il doit se tenir pour que la règle ait l'inclinaison voulue.

312 — Il est utile que l'ingénieur chargé d'un percement dans des parties nouvelles, conserve pour les archives de la mine un journal minutieux des diverses circonstances présentées par le terrain traversé, avant que le revêtement les ait fait disparaître. Rien n'est plus facile au moyen d'une simple bande, sur laquelle on reproduit les épaisseurs et les inclinaisons que l'on rencontre, en représentant les diverses matières à l'aide de teintes conventionnelles.

L'ouvrier doit être surveillé de près. Sans même supposer sa mauvaise volonté, il sera porté à exagérer la pente, pour mieux se débarrasser des eaux. Or la conservation de cet élément est d'une extrême importance, comme nous le verrons dans les théories du roulage et de l'écoulement. En ce qui concerne la direction, le percement tendra de même à se dévier du côté de moindre résistance. Ajoutons que dans le profil de la section, le piqueur laissera volontiers en forme de congé arrondi les angles vifs qui sont plus difficiles à refouiller; ce qui est pourtant indispensable en vue de la pose du boisage.

Quant à l'exécution même du percement [1], il peut sembler sin-

[1] Habets, *Creusement des puits et galeries*, in-8°.

Digitized by Google

gulier que nous en fassions l'objet d'un chapitre spécial, puisque nous avons d'une part étudié l'abatage, et d'un autre côté le revêtement, qui forment les deux termes de la question. Lorsqu'en effet le terrain présentera une consistance suffisante pour que ces opérations puissent être effectuées d'une manière distincte, et l'une après l'autre, nous n'aurons rien de plus à ajouter. Ce cas est d'ailleurs le plus fréquent dans la pratique des mines. Mais il arrive aussi que des terrains inconsistants, ou aquifères, ne peuvent attendre un seul instant sans soutènement. Les deux opérations doivent alors être fondues ensemble au point de n'en faire plus qu'une seule plus ou moins complexe. De là des difficultés spéciales, que l'on ne peut surmonter qu'au moyen de méthodes dont quelques-unes sont très remarquables, et que nous avons à faire connaître.

§ 2

BOISAGE AU POUSSAGE

313 — *Poussage simple.* — Nous distinguerons trois cas pour la traversée des strates sans cohésion : 1° les terrains *ébouleux*, qui ne peuvent être laissés sans soutien au-dessus du vide, mais qui se tiennent encore assez convenablement dans les parties verticales, et surtout à la sole. On emploie pour eux le *poussage simple*[1].

2° Les terrains *inconsistants*, qui ne peuvent être abandonnés sans un soutien complet, même dans les parties verticales. On les franchit au moyen du *poussage au bouclier*.

3° Enfin les terrains *coulants* et aquifères, qui, présentant une fluidité comparable à celle de l'eau, ne peuvent être laissés à découvert ni pour un seul instant, ni sur la moindre surface, même à la sole. On se trouve alors réduit au procédé du *picotage*.

314 — La méthode du *poussage*, ou *enfilage*, consiste à disposer entre les chapeaux des cadres et la roche du plafond un revêtement

[1] Bouhy, Creusement des galeries à travers les terrains mouvants (*Annales des travaux publics de Belgique*, VIII, 257).

Digitized by Google

exact de palplanches jointives. La difficulté consiste à les insérer dans cette situation. C'est ce que nous allons expliquer pour une palplanche envisagée isolément, que les figures 232, 233, 234, 235 représentent dans une suite de positions successives. Il va sans dire, d'ailleurs, que ce n'est pas après avoir exécuté, pour l'une des palplanches de la travée, toute la série des manœuvres qui vont être expliquées, qu'on les recommencera dans le même ordre sur la palplanche contiguë, pour passer ensuite à ses voisines. Tout au

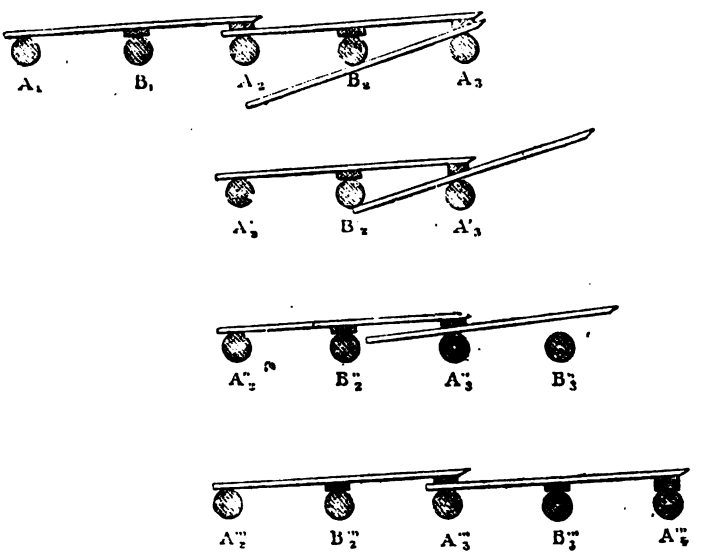


Fig. 232 à 235. — Poussage simple.

contraire, après avoir gagné un peu de terrain avec l'une des palplanches, on répète sur toutes les autres ce qui vient d'être fait pour celle-ci, puis on reprend en ce qui la concerne, et consécutivement pour les autres, la série de ces faibles avancements.

Nous supposons l'ouvrage en marche courante, et nous envisageons à part les cinq derniers cadres, qui, sur la figure 232, sont représentés uniquement par leurs chapeaux A_1, B_1, A_2, B_2, A_3. On remarquera que ces cadres sont de deux sortes : ceux qui supportent les extrémités des palplanches, et sont marqués par la lettre A, et ceux qui en soutiennent les milieux, désignés par B.

Digitized by Google

Quand les palplanches sont arrivées à leur état définitif, comme en A_1 A_2 et en A'''_2 A'''_3, elles présentent une légère inclinaison ascendante dans le sens de l'avancement. On la réalise, au moment où la pose se termine pour une palplanche, au moyen d'un coin disposé en son milieu entre elle et le chapeau B'''_3(1), et de deux coins placés à l'extrémité, en A'''_4, à savoir un *coin* proprement dit au contact de la palplanche, et un *contre-coin* sur le chapeau. Mais ce dernier ne fait là qu'un séjour temporaire, en vue de maintenir l'extrémité de la palplanche arrivée à destination, pendant que l'on s'occupe de ses voisines. Il est destiné à disparaître dans la pose de la travée suivante, et se trouve alors remplacé par la queue de la palplanche correspondante, comme cela se voit en A_2 et en A'''_3.

C'est précisément par là que commence la pose de la nouvelle travée. On vient d'enlever en A_3 le contre-coin, et de le remplacer par la tête d'une palplanche. Celle-ci est poussée progressivement dans le massif peu résistant du terrain, à l'aide de coups de masse appliqués à l'arrière vers A_2. Au fur et à mesure de cet avancement qui tend à coincer les matières, on dégage la palplanche en grattant sous la partie qui se trouve en surplomb en avant de A'_3. On parvient ainsi à la position B'_2 A'_3, dans laquelle le madrier est encore resté sensiblement parallèle à lui-même. A ce moment, on place un nouveau cadre B''_3, destiné à supporter le milieu de la nouvelle travée. Puis, par un léger mouvement en avant, la palplanche bascule et prend la position A''_3 B''_3. Immédiatement on insère en B''_3, pour la recevoir et assurer son inclinaison, le coin figuré en B'''_3. A partir de ce moment, le poussage recommence et la pièce arrive progressivement à la situation A'''_3 B'''_3. C'est alors que l'on pose un nouveau cadre de tête A'''_4, et qu'on y place le coin et le contre-coin, sur lesquels vient définitivement reposer l'extrémité antérieure de la palplanche.

315 — Lorsque le terrain, au lieu d'être uniformément incohérent, de manière à se prêter au poussage avec un simple grattage à l'avancement, est parsemé de blocs durs qui arrêtent

(1) Parfois on se contente de faire les cadres B du milieu un peu plus hauts que ceux A des extrémités.

Digitized by Google

toute progression des palplanches, il faut excaver en dessous, de manière à faire ébouler cet obstacle dans la galerie, en s'entourant des précautions nécessaires pour ne pas compromettre la solidité de l'ensemble. Si l'on vient à reconnaître que les dimensions du bloc sont trop considérables pour que l'on puisse opérer ainsi, l'on cherchera à le fragmenter à l'aide de très petits coups de mine, en ayant soin de ne pas occasionner d'ébranlements généraux.

Le procédé du poussage s'est beaucoup développé en Silésie. On le rencontre en France sur divers points. Certains enfilages de Saint-Éloi (Puy-de-Dôme) peuvent être cités pour leur belle exécution. Au Creusot (Saône-et-Loire), la pose d'un semblable appareil ressort à 35 francs par mètre courant.

Il faut ajouter que le poussage est employé, bien que très rarement pour l'avancement des tailles elles-mêmes, quand la nature du ciel l'exige et que la valeur du minerai le permet.

316 — *Poussage au bouclier.* — Lorsque les parois verticales ne peuvent être abandonnées à elles-mêmes, les piédroits devront, tout comme le plafond, recevoir un garnissage. Au besoin même, si la sole le réclame, on poussera des palplanches sous les semelles, comme on le fait par-dessus les chapeaux, et la galerie se trouvera revêtue d'un *coffrage complet* (fig. 236, 237, 238).

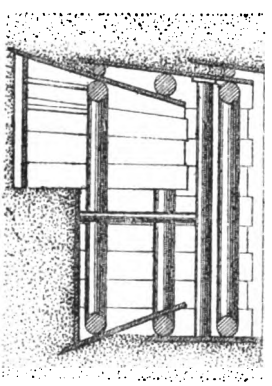


Fig. 236. — Poussage au bouclier (coupe verticale en long).

Chaque palplanche présentant, ainsi que nous l'avons vu, une inclinaison sensible sur l'axe de l'ouvrage, il est clair que ce coffrage sera formé de troncs de pyramide évasés vers l'avancement, et emboîtés les uns dans les autres. Or les faces d'un pareil solide sont nécessairement des trapèzes. Au contraire, la forme ordinaire des palplanches est rectangulaire. Elles ne sauraient donc constituer par leur ensemble ce trapèze, si l'on n'adjoignait aux rectangles, sur les bords, deux pièces spéciales de forme trapé-

Digitized by Google

zoïdale, profilées par deux parallèles, une perpendiculaire et une oblique. Ce trapèze chemine, la grande base en avant. Sauf cette particularité, le poussage sur les parois et à la sole se fera comme nous l'avons expliqué tout à l'heure pour le plafond. Il sera toutefois nécessaire que les extrémités du chapeau et de la semelle ne dépassent pas le plan tangent extérieur des montants, afin de permettre le poussage des palplanches latérales.

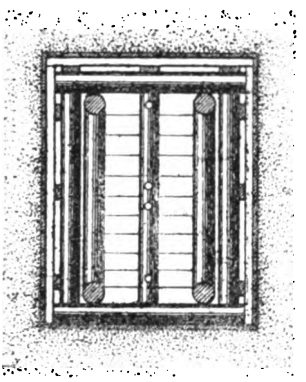


Fig. 237. — Poussage au bouclier (coupe verticale en travers).

317 — Mais il reste en outre le front de taille qui, pas plus que les autres parois, ne saurait demeurer sans revêtement. Comme en même temps ce plan doit aller constamment en reculant, on le maintient à l'aide d'un garnissage mobile appelé *bouclier*. Cet appareil est formé de madriers horizontaux, appuyés contre les montants du dernier cadre, soit directement, soit à l'aide de contrefiches volantes, dont on possède un assortiment de longueurs graduées. On enfonce ces madriers de force, en refoulant le terrain, et en remplaçant successivement leurs arcs-boutants par d'autres, de longueurs croissantes. Lorsque le massif se refuse décidément à permettre l'avancement du bouclier, on soulève un des madriers et on laisse couler le terrain dans la galerie, en grattant au besoin pour l'y aider, mais limitant cette coulée au strict nécessaire, afin de ne pas mettre en mouvement les masses environ-

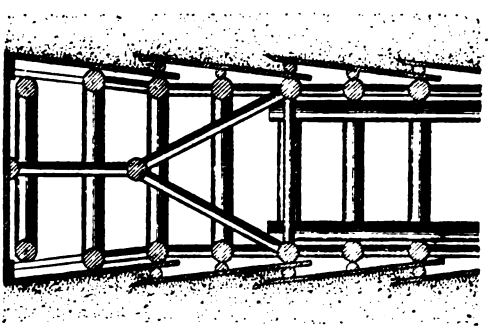


Fig. 238. — Poussage au bouclier (coupe horizontale).

Digitized by Google

nantes. Par là en effet, en étendant inutilement le trouble apporté par le percement dans l'équilibre du terrain, on augmenterait d'autant les pressions. Au fur et à mesure que le bouclier s'avance ainsi, les palplanches le suivent sur les quatre faces du coffrage, par le procédé qui a été expliqué ci-dessus (N° 314). Quant à la séparation qui s'ouvre entre les madriers lorsqu'on les pousse l'un après l'autre, on la calfeutre momentanément avec des bouchons de paille, pour empêcher le coulage du terrain.

Dans le cas où la galerie est un peu large, le bouclier présenterait trop de portée, et la manœuvre des madriers qui le constituent deviendrait impossible. On compose alors ce revêtement de deux moitiés indépendantes l'une de l'autre, en partageant la section en deux travées par un montant vertical. On a ainsi deux demi-boucliers, arc-boutés chacun, d'une part sur ce portant, et de l'autre sur l'un des montants du dernier cadre. Cette butte elle-même est consolidée par deux jambes de force, qui reportent sur les montants de l'avant-dernier cadre les poussées qu'elle subit de la part du front de taille.

318 — *Picotage.* — Supposons enfin un terrain absolument fluide (fig. 239, 240). On arrive encore à le traverser en lui communiquant la consistance qui lui manque, par l'enfoncement de picots de bois dont on garnit tout le front de taille, et que l'on pousse en avant à coups de masse[1]. On peut même s'aider pour cela d'un bélier, formé d'une poutre assez lourde suspendue horizontalement sur des chaînes. On l'écarte de son aplomb, dans le

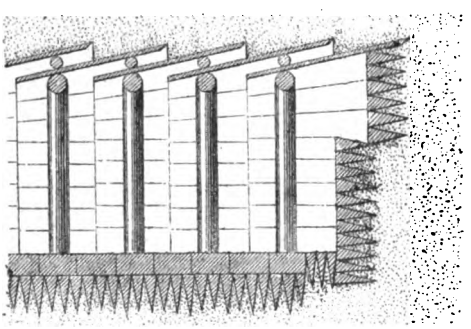


Fig. 239. — Picotage (coupe verticale en long).

[1] Ce procédé a été imaginé par Victor Simon dans la mine de calamine de Dos, pour le passage sous la Meuse de la galerie d'écoulement d'Engis.

Digitized by Google

sens longitudinal, et on l'abandonne pour qu'elle revienne choquer les picots.

Si le terrain, trop refoulé, refuse de céder davantage, on perce dans cette masse de bois quelques trous de tarière, pour laisser couler les matières boueuses. Quand on juge que le bouclier de picots est assez soulagé, on aveugle ce trou avec une cheville enfoncée à force, et l'on recommence le poussage.

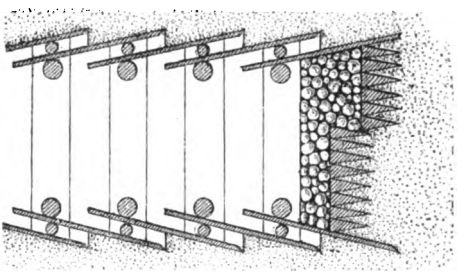


Fig. 240. — Picotage (coupe horizontale).

Les figures 239 et 240 montrent également les picots que l'on enfonce dans la sole, pour lui donner de la consistance, au fur et à mesure que l'avancement des picots horizontaux démasque la place d'un rang de picots verticaux. Ils sont ensuite recouverts de fortes semelles rectangulaires jointives [1].

§ 3

MURAILLEMENT AVEC POUSSAGE

319 — *Poussage et muraillement successifs.* — Lorsqu'une certaine longueur a été conquise par le poussage dans des conditions aussi précaires, on ne laisse pas vieillir un pareil ouvrage sans le murailler entièrement s'il est destiné à une certaine durée.

Pour cela, on déboise *en reculant*, et retirant chaque palplanche dans le sens inverse de celui de son introduction. Dès que l'on a enlevé une travée de palplanches, ainsi que ses deux cadres, on les remplace par un arceau de maçonnerie, en ayant soin de laisser chevaucher les briques d'un anneau à l'autre, pour les mieux lier

[1] Thirion, *Note sur le picotage*, 1827. — Carteron, Sur le procédé de Victor Simon pour traverser les sables mouvants et aquifères, *Annales*, 4e, XIV, 399.

Digitized by Google

ensemble. Si l'on ne peut laisser à nu une telle étendue, pendant le temps nécessaire pour élever le muraillement, on ne défait le coffrage que pièce par pièce, en arc-boutant ses diverses parties, de manière à permettre cette démolition successive, et l'on comble immédiatement le vide par de la maçonnerie. Si c'est encore trop demander à la solidité du terrain, on hache les pièces sur place, de telle sorte que le déboisage soit rigoureusement suivi par le muraillement sur les moindres espaces.

Quand le terrain est aquifère en même temps qu'inconsistant, on a soin d'attendre qu'il soit égoutté, si l'on peut espérer qu'un certain délai diminue l'affluence des eaux. Puis on élève deux batardeaux en travers de la galerie, pour exécuter entre eux une travée du radier, en établissant une communication de l'un des deux biefs à l'autre, au moyen d'un canal en planches. Il va sans dire que, pour construire la maçonnerie dans ces conditions, l'on emploie du mortier éminemment hydraulique.

320 — *Poussage et muraillement simultanés.* — Si l'on suppose enfin une fluidité telle qu'elle entrave tous les procédés précédents, il faut renoncer à l'intermédiaire du boisage, et se résoudre à exécuter directement le muraillement, au fur et à mesure de l'avancement.

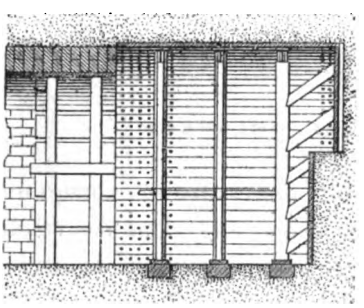


Fig. 241. — Poussage avec muraillement (coupe verticale en long).

Un bouclier soutient alors le front de taille (fig. 241, 242) comme ci-dessus (N° 317). Seulement les madriers qui le constituent, ainsi que toutes les autres parties de l'appareil, sont en fer. Un garnissage de palplanches métalliques dessine le prisme de la galerie. Elles sont engagées dans le massif un peu en avant du bouclier, et, en arrière, entre la maçonnerie et le terrain. On constitue par là une chambre de travail, consolidée par trois cadres en fer, de telle sorte qu'il y en ait toujours au moins deux debout, tandis que

Digitized by Google

l'on démonte celui d'arrière pour le reporter en avant. Ces cadres, composés de parties faciles à assembler et à démonter, sont entretoisés ensemble.

Pour effectuer le poussage, on applique sur le devant de la maçonnerie un frontail métallique, sur lequel on prend un point d'appui avec des pinces, que l'on engage dans des trous pratiqués à mi-épaisseur à l'intrados des palplanches en fer. En faisant levier avec ces pinces, on pousse le garnissage en avant, et on le fait pénétrer dans la masse incohérente. Lorsqu'il est presque entièrement sorti de derrière la maçonnerie, ce que l'on reconnaît à certains repères, on prolonge celle-ci d'un nouvel arceau; ensuite le poussage recommence.

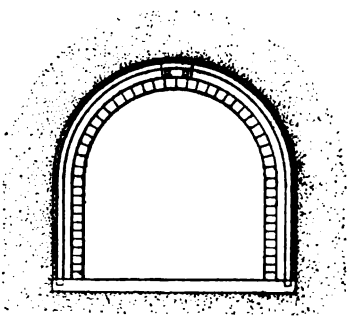


Fig. 242. — Poussage avec murailleiment (coupe verticale en travers).

On peut, dans ce procédé, remplacer la maçonnerie par un blindage métallique complet, formé de panneaux jointifs et analogue à ceux que nous avons déjà rencontrés (Nos 302 et 304). Le bouclier présente alors, comme la galerie, une forme circulaire ou elliptique.

Ces systèmes présentent l'avantage de supprimer la dépense de bois occasionnée par la méthode précédente; mais ils manquent de souplesse pour se prêter à des mouvements qui sont presque inévitables de la part d'un terrain aussi meuble, et que le boisage est beaucoup mieux en état de supporter sans se disloquer.

Digitized by Google

CHAPITRE XII

PERCEMENT DES TUNNELS

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES TUNNELS

321 — *Dimensions des tunnels.* — Les galeries à grande section [1] ne sont pas sans exemple dans l'exploitation des mines. C'est ainsi que la concession de Comberedonde (Gard) a été mise en communication avec Lajasse par un ouvrage de 3200 mètres de

[1] Construction des grands tunnels, Breton (*Manuel de l'ingénieur des ponts et chaussées* de Debauve). — *Tunnel Baukunst*, Rziha, 1867, Berlin, 2 vol. in-4°. — *Neuere Tunnelbauten*, Zwick, 1873, Leipsick. — *Ueber Tunnelbau*, Mich. Könyves-Toth, 1875, Vienne. — *Tunnelbau*, Lorenz, Vienne. — Tunnel de l'Hudson, *Génie civil*, IV, 19. — De Somer, *Annales des trav. publ. de Belgique*, XLI, 223. — Revaux, Travaux exécutés au tunnel de l'Arlberg, *Annales*, 8e, VI, 259. — Tunnel sous-marin de la Mersey, *Bull. du ministère des travaux publics*, IV, 408; XIII, 199. — Tunnel Sutro, *Revue industrielle*, 7, 14, 21 janvier 1880. — James Ladame, *Les grands tunnels des Alpes et du Jura*, 1889, in-8°. — Pontzen, Tunnels, dragages et dérochements, *Encyclopédie Lechalas*, *Procédés généraux de construction*. — Moyens d'exécution du chemin de fer métropolitain de Paris, *Génie civil*, XVIII, 22. — Tunnel de l'Arlberg, *Ibidem*, IV, 80. — Stockalper, *Les grands tunnels alpins et la chaleur souterraine*, Lausanne, 1883. — *Réponse de la direction technique de l'entreprise des grands tunnels du Saint-Gothard à la brochure de M. l'ingénieur en chef Bridel*, Lausanne. 1883. — Louis Figuier, *Les nouvelles conquêtes de la science*, 6e fascicule, le Tunnel du Saint-Gothard. — Simonin. Les percées des Alpes, *Bulletin de l'Assoc. scient. de France*, 1884, 282. — Agrandissement des tunnels, *Mémoires des ingénieurs civils*, 1885. 111. — Agrandissement d'un tunnel sans arrêter les trains, *Génie civil*, VI, 387. — Haupt. *Percement des galeries souterraines et des tunnels*, Berlin, 1884, in-8°. — Carl Dalezalek, *Der Tunnelbau*, Hanovre, 1889, in-8°. — Walter Simms, *Practical Tunnelling*, Londres, 1844. — Drinker, *Tunnelling, explosive compounds and rock drills*, New-York, 1878. — *Revue gén. des chem. de fer*, 1886, I, 206; II, 301; 1887, I, 22; 1888, II, 329; 1891, I, 214.

Digitized by Google

longueur sur 3m,10 de largeur et 2m,55 de hauteur dans les travées à une seule voie; 4m,92 sur 2m,96 dans les longs évitements à deux voies (fig. 243). Ces dimensions représentent des sections de 7 et de 12 mètres carrés.

On voit également les wagons du chemin de fer de la Compagnie

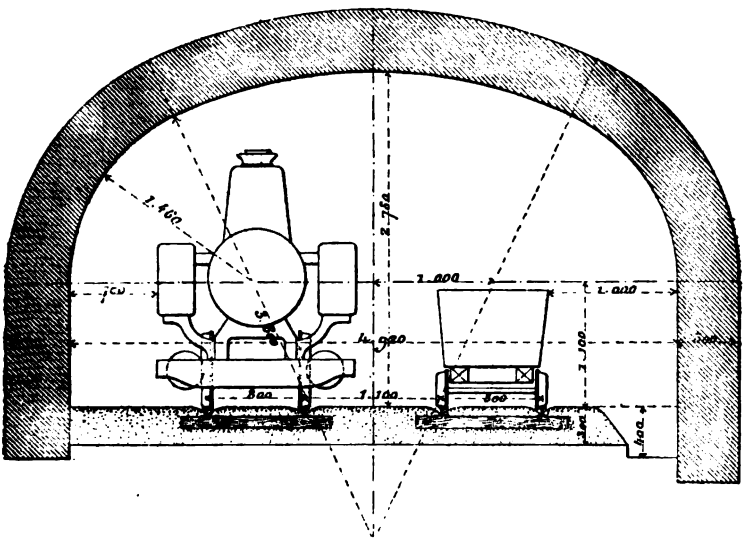


Fig. 243. — Galerie de mine à grande section.

de Mokta-el-Hadid pénétrer dans les travaux, sur un développement de plus de 1200 mètres.

La mine de Champagnac (Cantal) présente une grande galerie de 1100 mètres qui est appelée *le tunnel*.

De même, les nombreuses exploitations établies sur le filon de Comstock (Nevada) ont été mises en relation avec l'extérieur à l'aide d'un tunnel construit par la compagnie Sutro[1]. Après un travers-banc de six kilomètres, recoupant le filon à 600 mètres de profondeur, on s'y est développé en direction sur un parcours à peu près égal, de manière à concentrer dans cet ouvrage les services de l'épuisement, de l'aérage et de l'extraction, qui se

[1] *Annales*, 7e, V, 256, Burthe.

Digitized by Google

trouve transformée par là en un roulage à niveau. La largeur de la section est de $4^m,86$ et la hauteur $3^m,65$.

La Compagnie de Rio-Tinto[1] a taillé en plein minerai pyriteux un tunnel de 2100 mètres de longueur et de 4 mètres sur 4 mètres, dans lequel circulent sans rompre charge les locomotives du chemin de fer de Huelva.

322 — Si l'on passe de l'industrie des mines à celles des chemins de fer ou des canaux, les tunnels deviennent innombrables, et leurs dimensions s'accroissent encore. La section atteint ordinairement une hauteur de 6 mètres sous clef, et une largeur de 8 mètres au maximum d'évasement des piédroits, qui sont arqués en courbe pour mieux résister aux poussées latérales[2].

Quant à la longueur, on peut citer en France parmi les plus remarquables : le souterrain de Blaisy, voisin de Dijon, de 4100 mètres; et celui de la Nerthe, près de Marseille, sur 4620 mètres. Le percement de l'Arlberg a 10270 mètres de longueur, celui du Mont-Cenis 12323 mètres, et le Saint-Gothard 14920 mètres[3].

Le profil en long est en général compris dans un plan vertical, avec pente et contre-pente dirigées en sens contraires, pour assurer l'écoulement des eaux au dehors. Toutefois, depuis les percements des grandes chaînes à des niveaux élevés, les vallées laté-

(1) Cumenge, *Notes* sur Rio Tinto, 1883, Paris, in-4°.

(2) On n'a pas craint de présenter au Congrès institué pour procéder aux études du canal de l'isthme de Panama, un projet de tunnel destiné à permettre le passage des vaisseaux de haut bord. Il présentait 20 mètres de largeur au plafond, 24 mètres au plan d'eau moyen, situé 10 mètres plus haut, et 34 mètres d'élévation au-dessus de ce plan, soit 44 mètres de hauteur totale. Il s'ensuit une section d'environ 783 mètres carrés, sur 7720 mètres de longueur, ou, en tout, plus de six millions de mètres cubes. (*Les Mondes*, XLIX, 479.)

(3) Les opérations ont exigé 14 ans au Mont-Cenis, 8 ans au Saint-Gothard, 4 ans à l'Arlberg. La progression décroissante s'accentue avec l'expérience acquise. Le projet de tunnel sous-marin de la Manche présente 35 kilomètres sous la mer. Les rampes d'accès portent ce chiffre à un total de 48 kilomètres. On se tient à 100 mètres au-dessous du plan d'eau, en laissant 46 mètres de roche en couronne au minimum.

Le percement du nouvel aqueduc de New-York, sur 45 kilomètres, compte 26 puits avec doubles chantiers, deux postes souterrains de 3000 hommes chacun et 2000 au jour, aidés par un énorme matériel d'engins mécaniques (*Bulletin du Ministère des travaux publics*, novembre 1885, 543).

Citons encore le tunnel de Carrits sur lequel on trouve des indications numériques intéressantes dans le *Bulletin* précité, septembre 1886, 280.

Digitized by Google

rales ne permettant plus toujours un développement suffisant des rampes d'accès, sous peine d'exagérer les pentes, on leur adjoint des parcours souterrains tournoyant à l'intérieur de la masse, dans le but d'ajouter de l'espace horizontal pour une dénivellation donnée. On les appelle tunnels hélicoïdaux.

Les prix de revient sont naturellement très variables, suivant la section et la nature des terrains traversés. On peut citer, à titre d'exemples, les chiffres suivants :

TUNNELS	PRIX DE REVIENT DU MÈTRE	
	COURANT	CUBE
	francs	fr. c.
Lioran (*)	664	18 71
Mont-Cenis	2 440	40 00
Saint-Gothard	2 800	51 00

(*) Cantal, longueur : 2 kilomètres environ.

323 — *Puits d'accès.* — Sauf dans les cas, tels que ceux de ces derniers tunnels, où la hauteur des lignes de faîte au-dessus de la traversée devient inabordable, on active notablement le percement en s'enfonçant, au moyen de puits, en un certain nombre de positions intermédiaires, pour multiplier les points d'attaque. Ces puits ont été disposés quelquefois sur l'axe même du tunnel[1]; mais beaucoup plus souvent le long d'une parallèle située à une faible distance, afin que le service et les réparations de ceux d'entre eux que l'on conserve après l'achèvement de l'ouvrage, n'interrompent pas la circulation dans le tunnel. On le relie alors par de courtes galeries transversales aux pieds de ces puits.

Si l'on désigne par n le nombre de ces derniers, on fera partir de chacun d'entre eux deux chantiers progressant en sens contraires. En y joignant les deux attaques directes des extrémités, on obtiendra ainsi un total de $2(n+1)$ ateliers. Ces fonçages ne seront

[1] Comme au tunnel de Vierzon (Cher).

Digitized by Google

pas également espacés sur le profil en long. A cet égard, le problème est évidemment d'arriver dans le temps le plus court; car c'est seulement après l'achèvement de l'ouvrage que l'on retrouvera la rémunération des capitaux employés à la construction du tunnel et des tronçons voisins qu'il est destiné à mettre en communication. Il faut pour cela que la durée du travail soit également répartie sur tous les chantiers; car si un seul se trouve en retard, il annule les avantages de l'achèvement anticipé des autres. On écartera donc les puits de manière que la somme de leur hauteur verticale et de la portion de travée qui leur est adjacente, jusqu'à la rencontre du chantier voisin, soit autant que possible la même pour tous; ou mieux encore on tâchera d'obtenir une telle égalité, non pas entre les longueurs à percer, mais entre les durées présumées, si l'on possède *a priori* une appréciation suffisante des vitesses de percement dans les deux sens, vertical et horizontal, ainsi que dans les diverses roches, dont la coupe géologique repérée sur le terrain permettra de prévoir la puissance et la nature plus ou moins aquifère (1).

Il est clair d'ailleurs qu'il ne faudra pas à cet égard tomber dans l'exagération, en ce qui concerne le nombre de puits. Sans cela, l'augmentation de dépense occasionnée par les fonçages verticaux arriverait à compenser, et au delà, le bénéfice dû au prompt achèvement des travaux. Ce nombre se réduira surtout par suite de l'épaisseur des terrains qui surmontent le tunnel; à tel point que, dans les circonstances extrêmes, l'économie exige précisément que l'on annule n. Quant aux tunnels sous-marins, la question ne s'y pose même pas. En pareils cas ces divers problèmes fussent souvent demeurés insolubles, sans l'introduction de la perforation mécanique qui a permis d'une part de communiquer à l'abatage une activité inconnue jusqu'alors, et de l'autre d'aérer les avancements à d'aussi grandes distances au moyen de l'air comprimé. L'élévation de température due à la chaleur centrale du globe apporte en effet à cet égard de très grandes difficultés, sur lesquelles nous reviendrons au commencement de la huitième partie de ce Cours.

(1) On peut consulter sur ce sujet le calcul de Thirion. (Callon, *Cours d'exploitation des mines*, I, 295.)

Digitized by Google

324 — Lorsque les puits sont foncés, on doit avant tout percer, aussi rapidement que possible, une galerie d'axe sur une petite section, destinée à les relier consécutivement. On y trouve l'avantage d'assurer la rencontre précise des diverses travées, de pouvoir installer en ces points intermédiaires autant de chantiers que l'on voudra pour battre au large, de faciliter la ventilation, et, par-dessus tout, d'assurer la retraite des ouvriers, si l'un des puits vient à être rendu impraticable par quelque accident.

§ 2

TERRAINS SOLIDES

325 — *Méthode de la section entière.* — Quant au percement lui-même, il varie beaucoup dans ses procédés avec la nature du terrain :

1° Si l'on se trouve dans des roches solides, on emploie la méthode de la *section entière*, en profitant de la dureté qui permet à cette section de subsister sans revêtement, au moins pendant quelque temps.

2° Si le massif ne possède pas une consistance suffisante, on substitue à ce principe celui de la *section divisée*, en fragmentant le vide à produire pour que ses diverses parties se tiennent plus facilement chacune en particulier, et les reliant ensuite les unes avec les autres par le muraillement.

3° Enfin, si le terrain est décidément mauvais, ébouleux, aquifère, on reprend le procédé de la section entière afin d'assurer l'unité du revêtement; car des portions exécutées séparément dans de telles conditions se raccorderaient mal, et la question des eaux pourrait même entraver tout à fait cette réunion. Mais on obvie alors aux difficultés créées par le manque de solidité, au moyen de méthodes spéciales et fort onéreuses que nous aurons à faire connaître.

Il est inutile d'ajouter que des opérations réalisées dans ces conditions extrêmes ne sauraient s'appliquer qu'à de courtes lon-

Digitized by Google

gueurs, et en vue d'un but très important. Si une telle traversée se présentait sur une étendue notable pour un tracé de chemin de fer, il serait préférable de remanier le projet, en cherchant un autre passage.

326 — Le procédé de la section entière s'applique avec des gradins, ordinairement au nombre de trois, assez développés dans le sens de l'axe pour que l'on puisse installer sur chacun d'eux une équipe de travailleurs. Le gradin supérieur est de beaucoup le moins bien partagé : d'abord parce qu'il attaque de front le massif, qui pour les autres se trouvera dégagé à la fois sur deux faces; en outre, en raison de la gêne spéciale qu'apporte la forme cintrée du plafond.

On fractionne ordinairement le percement, en pratiquant d'abord une galerie médiane au cerveau de la voûte, et battant au large, à droite et à gauche, à la suite du poste d'avancement.

Le muraillement suit à une certaine distance du gradin inférieur. La voûte ayant été élevée sur ses cintres et ses couchis (N° 292), on exécute une chape de ciment sur l'extrados, afin de la rendre imperméable, et l'on y étale un lit de planchettes, pour que ce revêtement ne soit pas endommagé par le blocage de pierres, à l'aide duquel on met la voûte en serrage contre la roche.

327 — *Méthode montante.* — Le principe de la section divisée peut, à son tour, s'appliquer de deux manières différentes, que nous appellerons le *mode montant* et le *mode descendant*.

Pour le mode montant (fig. 244), on pratique deux petites galeries boisées, de $1^m,20$ à $1^m,50$ de largeur, le long de l'emplacement destiné aux piédroits. Elles laissent entre elles un stross central de rocher. Dans chacune d'elles on s'élargit latéralement, en déboisant une longueur de 2 à 4 mètres, suivant le degré de solidité, et refouillant dans la paroi la place du piédroit, que l'on élève sur cette étendue restreinte. On fait cette opération de distance en distance, en laissant les entre-deux pour conserver à la galerie sa solidité. Lorsque les vides ainsi pratiqués ont été remplacés par des travées de maçonnerie, on recommence la même opération pour les

Digitized by Google

parties intermédiaires, de manière à relier les diverses portions du muraillement, en profitant des pierres d'attente qu'on laisse chevaucher de l'une à l'autre.

On perce alors au cerveau de la voûte une galerie de petite section, convenablement boisée. Puis, en procédant encore par

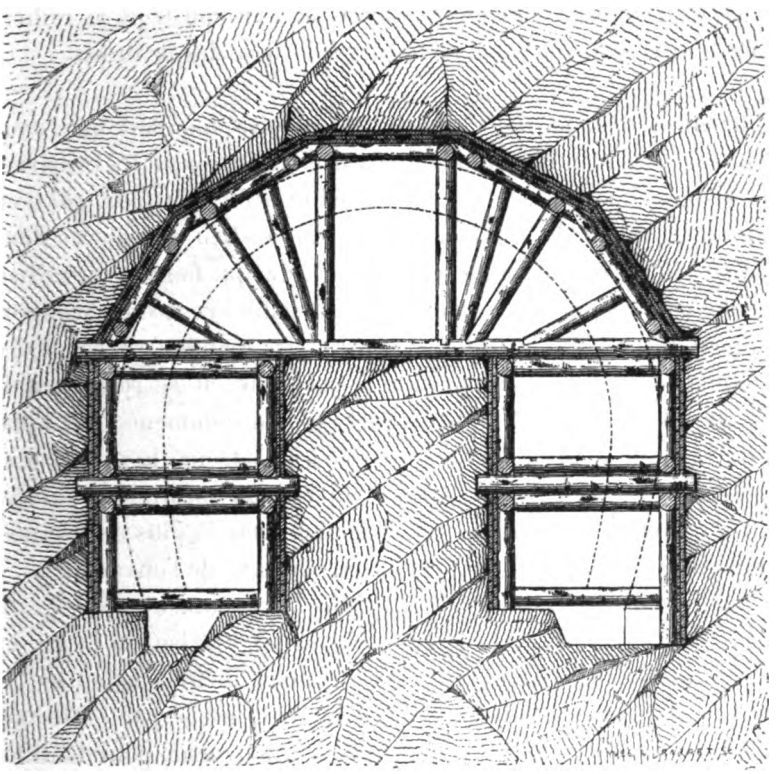


Fig. 244. — Méthode montante.

travées alternatives, on bat au large pour établir le cintre. On boise *en soleil* ces divers segments. A cet effet, on pose horizontalement des semelles transversales, formées de deux moitiés que l'on assemble en trait de Jupiter, afin d'en faciliter la pose et le démontage. Ces pièces sont soutenues par le stross et par les piédroits déjà construits. On y appuie des buttes divergentes qui supportent la roche soit directement, soit par l'intermédiaire d'écoins

Digitized by Google

pour obtenir plus de portée. Chaque chambre de travail présente ordinairement trois pareilles fermes, placées à ses extrémités et en son milieu. On pose alors les couchis sur les cintres, et l'on exécute un arceau de voûte, en déboisant progressivement. Lorsque les segments partiels sont établis, on traite de même les entre-deux pour les relier ensemble.

A ce moment, on dépile le stross, et l'on construit le radier, dont les naissances ont été ménagées à la base des piédroits.

328 — *Méthode descendante.* — L'ordre montant que nous venons d'esquisser devait dériver naturellement, pour les constructions souterraines, de l'habitude des édifices de la surface, qui n'en sauraient comporter d'autre. Mais quand, au lieu de s'élever dans l'atmosphère, on opère au sein de la terre qui fournit un milieu solide, dans lequel il faut excaver au préalable l'espace à maçonner, on peut adopter une marche inverse; et en réalité c'est cet ordre descendant qui tend aujourd'hui à prévaloir. Il se recommande en effet par cette circonstance que, si l'on commence par l'établissement de la voûte, en finissant par les piédroits, la première se construira dans un terrain solide, qui n'a pas encore joué sur des vides pratiqués en-dessous. On se donnera par là plus de facilités pour établir cette partie, qui est la plus délicate de l'ouvrage.

Avec le mode descendant (fig. 245), on commence par pratiquer au clavage une galerie à petite section. On bat au large, en reproduisant tous les détails qui viennent d'être expliqués, et on laisse porter les naissances à plein sur la roche par l'intermédiaire de sablières qui règnent suivant la longueur, pour faciliter le soutènement de la voûte lorsque l'on viendra excaver en dessous la place des piédroits. On creuse alors dans l'axe un large fossé, qui descend jusqu'à la sole future. On y bat au large, par travées que l'on attaque de deux en deux, et au fond desquelles on établit des retraites de maçonnerie, en élevant les piédroits jusqu'à la voûte. Cela fait, on abat les entre-deux et l'on complète ces piédroits. Il ne reste plus alors qu'à construire le radier.

L'inconvénient de cette méthode est la possibilité des tassements. On en fait quelquefois la part *a priori*, en établissant la voûte un

Digitized by Google

peu au-dessus du niveau précis où l'on compte la voir arriver par cet affaissement.

329 — *Méthode mixte.* — La méthode avec avancement à la base a été appliquée au Mont-Cenis; le procédé qui attaque par une

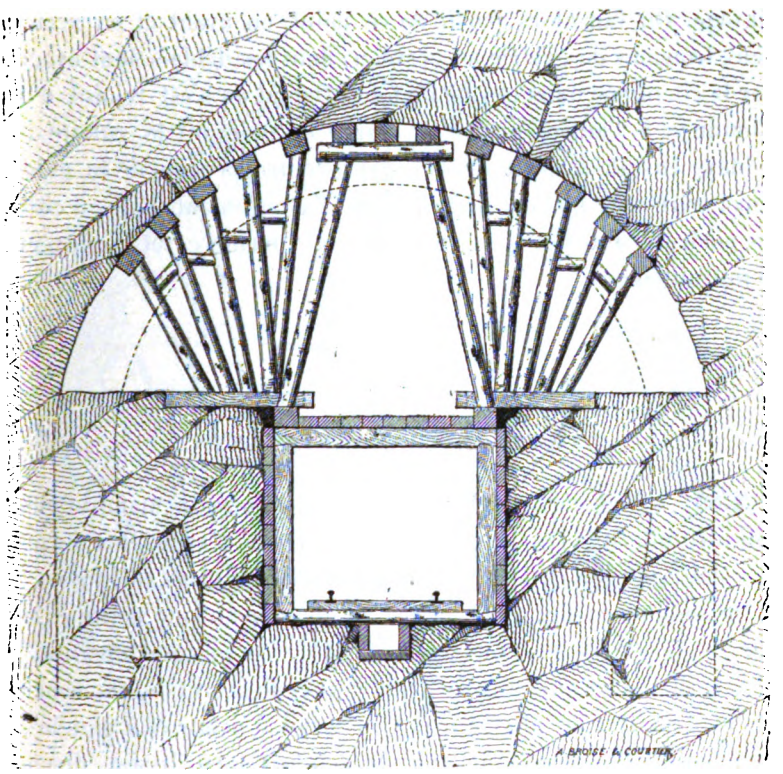


Fig. 215. — Méthode descendante.

galerie en calotte, appelé aussi *méthode belge*, a été adopté au Saint-Gothard. Au tunnel de l'Arlberg, on a employé une méthode mixte [1].

On débute avec une galerie à la base. Le travail à la main lui imprimerait un avancement égal à celui de l'élargissement et de

[1] Bridel, *Examen critique des systèmes d'exécution appliqués à la construction rapide des grands tunnels*, Lucerne, 1883.

Digitized by Google

la maçonnerie. Mais l'accélération due à l'emploi de la perforation mécanique détruisant cet équilibre, il devient nécessaire de multiplier les points d'attaque pour l'élargissement. On s'y prend pour cela de la manière suivante.

On perce, tous les 50 ou 60 mètres, une cheminée verticale dans le faîte de la galerie d'avancement, de manière à se porter au clavage. On fait alors partir de ce point, en avant et en arrière, deux tronçons de galerie au cerveau, dont les déblais sont évacués par la cheminée dans la voie de fond. Quand on s'est rejoint d'une cheminée à l'autre, on bat au large en enlevant la calotte. On déblaye ensuite le petit stross compris entre la sole de la galerie supérieure et le plafond de la galerie d'avancement, puis on enlève les piédroits à droite et à gauche de cette dernière, et l'on exécute le muraillement.

§ 3

TERRAINS INCONSISTANTS

330 — *Méthode anglaise.* — Lorsque le terrain manque de la solidité suffisante [1], on revient, comme nous l'avons dit, au principe de la section entière, en employant les artifices suivants.

On commence (fig. 246) par percer au cerveau une petite galerie par les procédés du poussage (N° 314). On procède ensuite, en arrière de l'avancement, à l'élargissement de la section par reprises de 3 à 4 mètres au plus. On bat au large, à droite et à gauche, et l'on boise cette travée à l'aide de rondins bien lisses, disposés suivant les génératrices du cylindre. Ce garnissage est soutenu à l'aide de soleils, qui reposent sur de forts entraits posés à terre en travers de la section. L'une de ces fermes, placée à l'avant de la chambre, maintient un bouclier complet contre le front de taille.

On s'approfondit ensuite suivant l'axe, d'une hauteur égale à la

[1] Bourdiel, Percement des tunnels dans les terrains ébouleux, 1880, in-8°. — Couriot, Percement des tunnels dans les terrains mous, fluents ou très ébouleux. *Mémoires des ingénieurs civils*, février 1884, 120. — Percement des tunnels dans les terrains ébouleux, *Génie civil*, IX, 22, 25; X', 21.

Digitized by Google

moitié environ de la distance qui sépare de la sole future, en maintenant les parois de cette sorte de fossé par un boisage provisoire convenablement entretoisé. Puis on bat au large, de manière à rejoindre le profil projeté, et l'on continue la ceinture de rondins, en les maintenant, ainsi que l'entrait supérieur, par de nouvelles

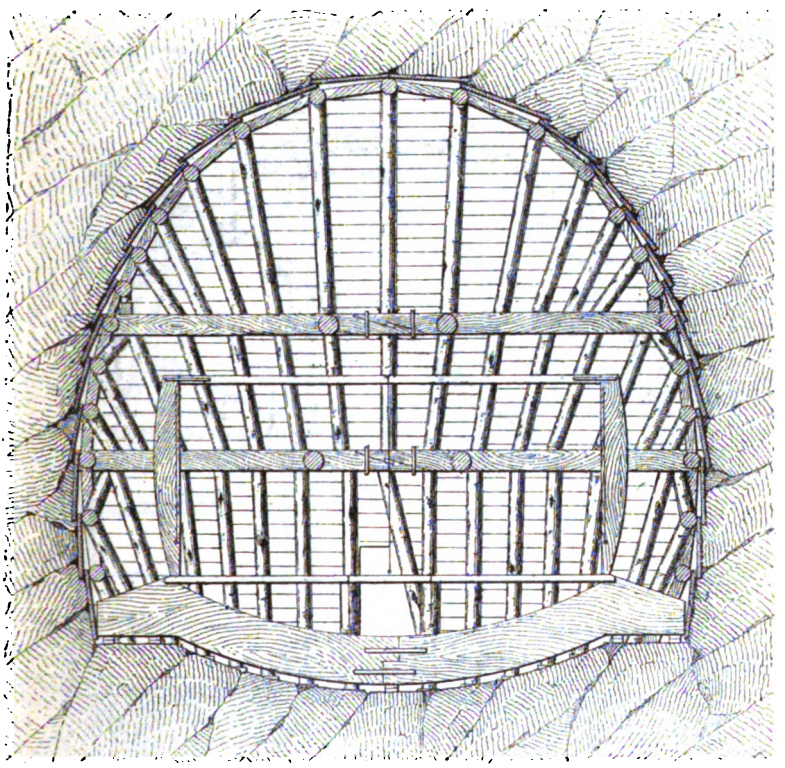


Fig. 246. — Méthode anglaise.

jambes de force destinées à reporter toutes les pressions sur un second entrait. Cela fait, on recommence les mêmes opérations pour la troisième travée, et le revêtement complet se trouve alors soutenu par des entraits posés à la base.

A ce moment, en déboisant successivement les soleils, on commence le muraillement, que l'on exécute d'une seule pièce afin d'assurer son unité. Quant aux rondins, on laisse derrière la maçon-

Digitized by Google

nerie ceux qui sont nécessaires pour maintenir les terres, et l'on a soin ensuite de les pousser en avant, pour protéger la chambre de travail qui succédera à celle-ci, en bourrant, autant qu'il sera possible, les vides produits par ce mouvement de progression.

331 — *Méthode autrichienne.* — Dans une seconde méthode

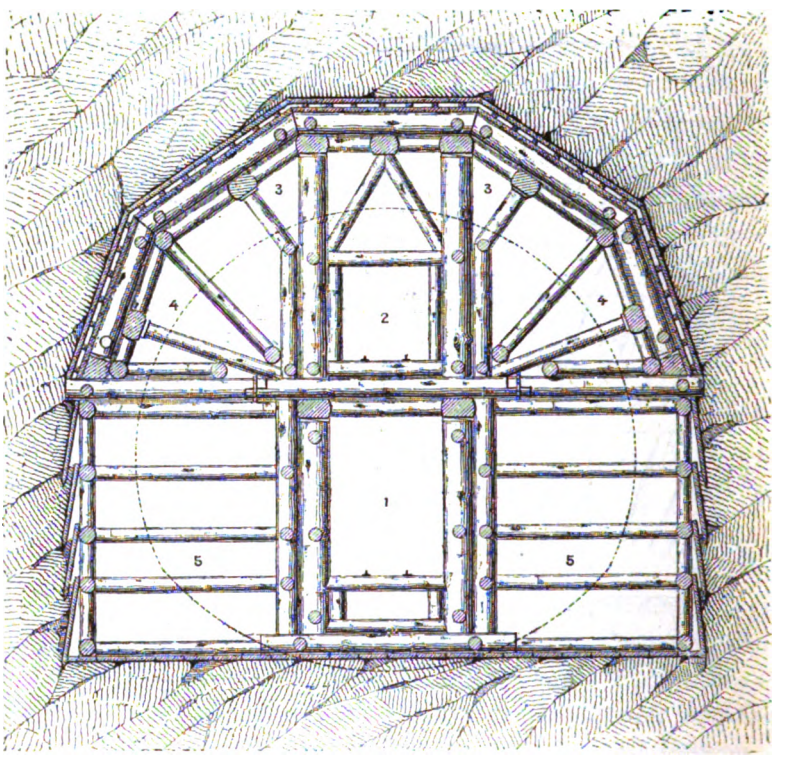


Fig. 247. — Méthode autrichienne (coupe transversale).

(fig. 247, 248, 249), on procède au moyen de percements et d'élargissements plus restreints, boisés chacun avec un grand soin. La réunion de ces échafaudages partiels constitue le boisage de la section entière, que l'on muraille ensuite d'un seul coup.

On commence, comme l'indiquent les numéros d'ordre de la figure 247, par percer à la base une galerie d'axe. On ouvre ensuite

Digitized by Google

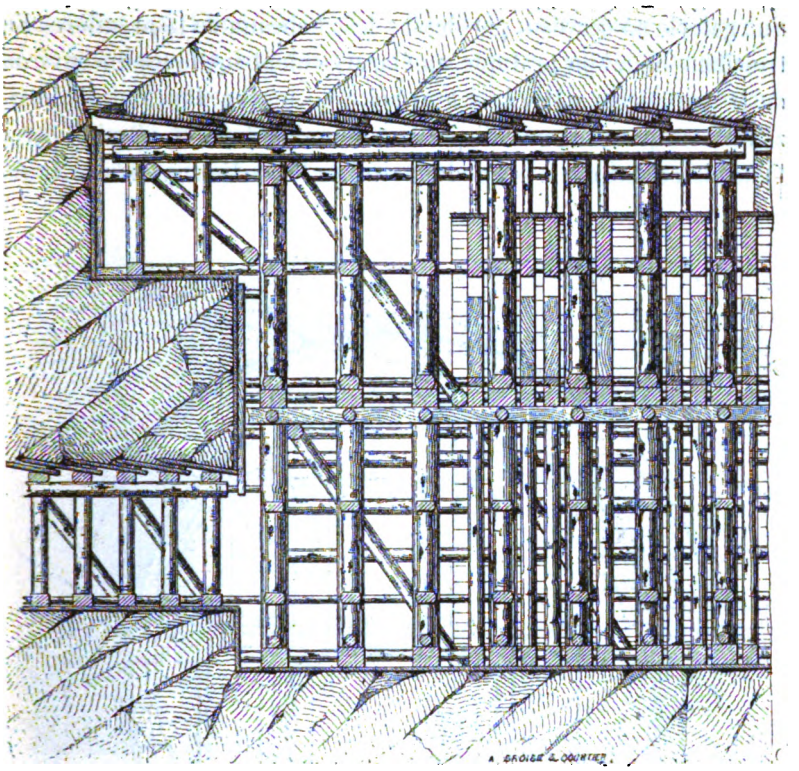


Fig. 248. — Méthode autrichienne (coupe longitudinale).

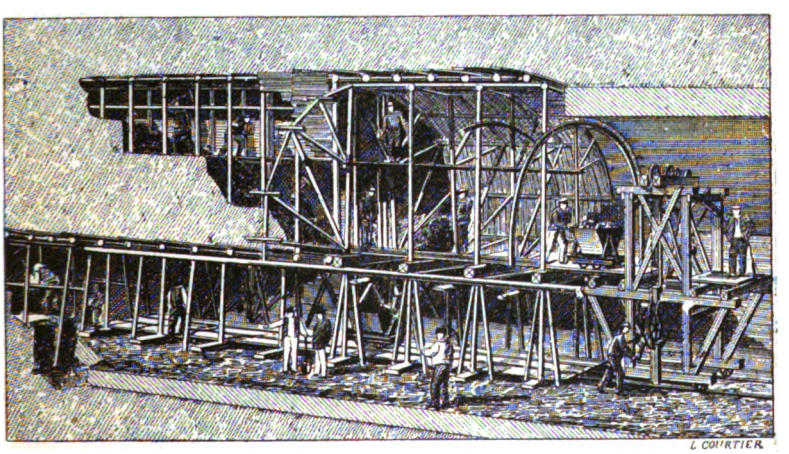


Fig. 249. — Méthode autrichienne (perspective).

Digitized by Google

une galerie au cerveau, par-dessus les chapeaux de la première. En troisième lieu, l'on pratique un élargissement sur la moitié environ de la hauteur de celle-ci, et l'on boise au moyen d'un entrait horizontal temporaire, qui disparaît au moment de la réunion avec l'élargissement de la seconde moitié de la partie supérieure. Enfin

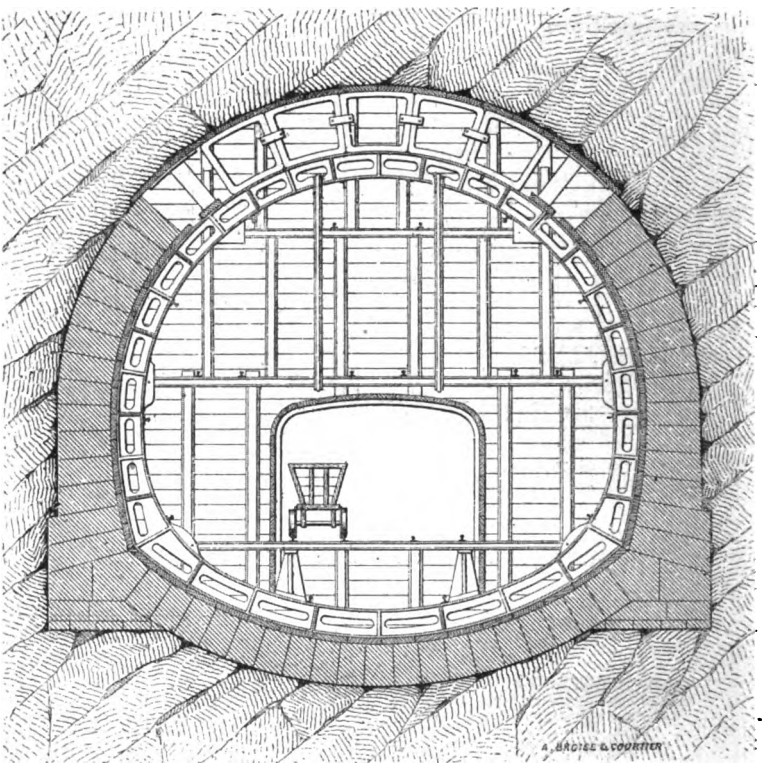


Fig. 250. — Méthode de Rziha (coupe transversale).

l'on bat au large des deux côtés de la galerie inférieure. Les divers avancements s'effectuent d'ailleurs à l'aide du poussage.

332 — *Méthode de Rziha.* — M. Rziha est l'auteur d'une méthode spéciale (fig. 250, 251), fondée sur l'emploi de soutènements métalliques provisoires. Il en établit deux ceintures

Digitized by Google

concentriques, l'une intérieure, formant cintre pour la pose de la maçonnerie, la seconde extérieure, tenant momentanément la place de cette maçonnerie, et disparaissant pièce par pièce pour la pose de celle-ci, tandis que le cintre intérieur ne s'enlève qu'au moment où l'arceau correspondant de muraillement a fait prise.

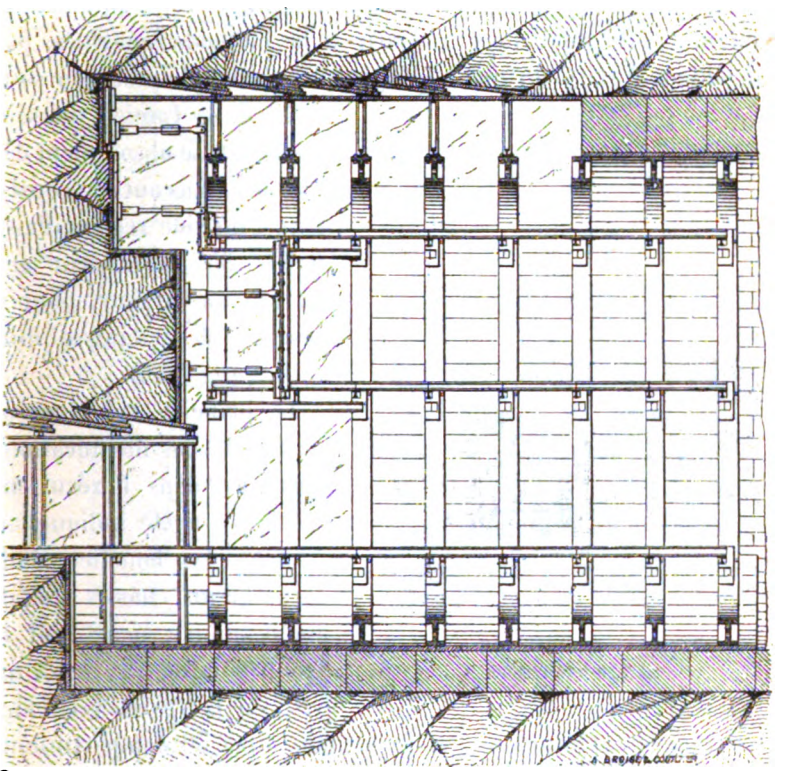


Fig. 251. — Méthode de Rziha (coupe longitudinale).

On ouvre d'abord à la base une petite galerie au poussage, puis on bat au large, en enfonçant des palplanches sur tout le périmètre autour du cintre métallique, et attaquant le front de taille en gradins. Ces derniers sont maintenus par les différentes parties du bouclier, arc-boutées au moyen de poussards à vis contre les arceaux métalliques.

Digitized by Google

§ 4

TERRAINS COULANTS

333 — *Méthode de Brunel.* — Ces derniers procédés deviendraient eux-mêmes impraticables dans un terrain aquifère et coulant [1]. On peut alors recourir à la méthode imaginée par l'ingénieur français Brunel. Il s'agissait pour lui de pratiquer sous le lit de la Tamise, au sein d'une masse absolument détrempée, sans aucune consistance, un vide rectangulaire de 6m,85 de hauteur sur 11m,55 de largeur, pour y inscrire deux cintres muraillés (fig. 252).

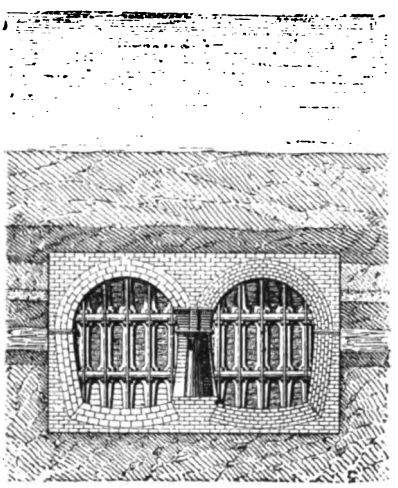


Fig. 252. — Tunnel de la Tamise (coupe transversale).

Le principe suivi reproduit, avec les modifications suivantes dans l'exécution, celui qui a été indiqué au N° 320. Le bouclier était formé d'un châssis métallique unique pour tout le front de taille (fig. 253), divisé en 6 travées verticales et 6 rangées horizontales, et présentant ainsi 36 compartiments évidés. Chacun de ces derniers était fermé par une série de madriers métalliques, arc-boutés contre le châssis par des poussards à vis; sur le périmètre du bouclier régnait une garniture latérale appuyée contre l'extrados de la tête du muraillement.

[1] Galerie creusée sous la Tamise, par Brunel, *Bull. Soc. d'enc.*, 1re série, XXIII, 254. — Le nouveau tunnel sous la Tamise, *Annales des Ponts et Chaussées*, juin 1870. — *Rev. univ. d. m.*, 1re, XXIX, 178. — Le nouveau souterrain tubulaire sous la Tamise, *Génie civil*, XVII, 218. — Marny, Bouclier employé pour le grand tunnel sous la rivière Saint-Clair, *Ibidem*, XVII, 341. — Tunnel de Saint-Clair, *Engineering*, 14 novembre 1890. — Colomer, Nouveaux boucliers pour le percement des tunnels, *Génie civil*, XXV, 151.

Digitized by Google

On faisait avancer, à l'aide des vis, chacun des boucliers. Lors-

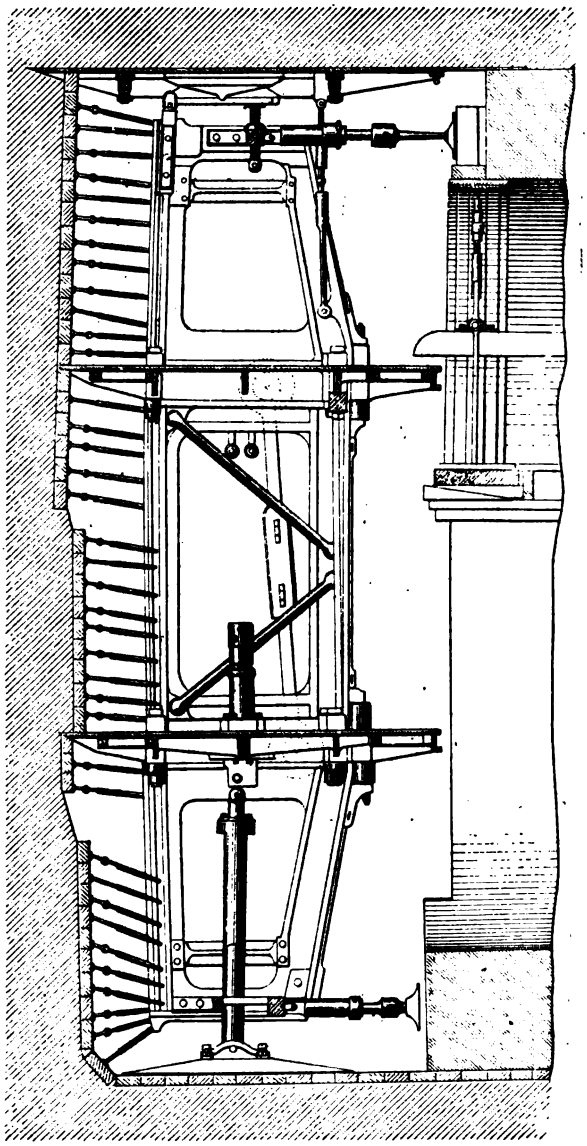


Fig. 253. — Tunnel de la Tamise (coupe longitudinale).

qu'on arrivait à un refus complet, on soulageait la plaque, en

Digitized by Google

laissant couler un peu de boue par des orifices d'une fermeture facile. Les 36 boucliers partiels étant ainsi avancés par rapport au châssis, il restait à mettre celui-ci en mouvement pour les rejoindre. On y arrivait à l'aide d'une autre série de vis, qui prenaient leur point d'appui sur la tête de la maçonnerie, et que l'on faisait

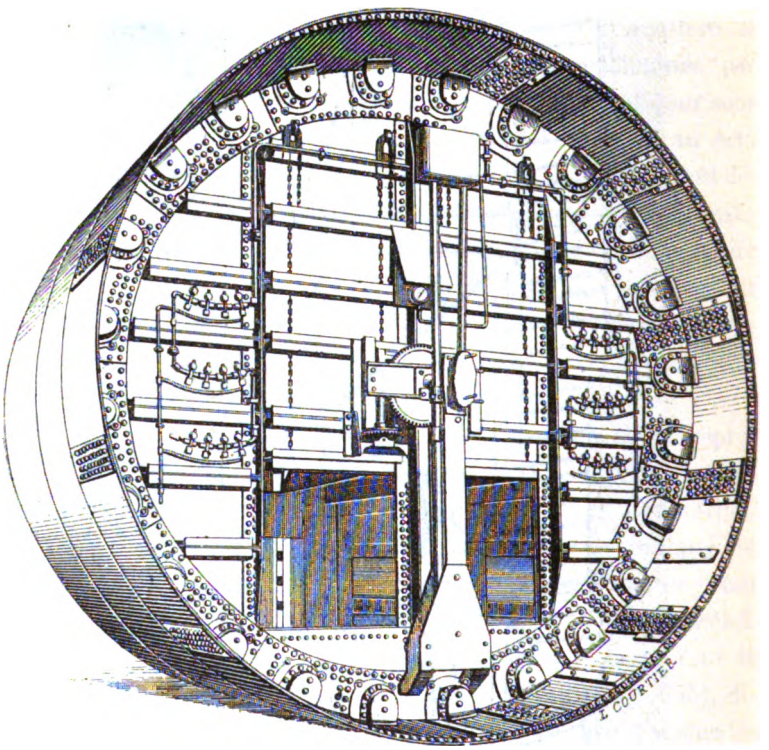


Fig. 254. — Bouclier du tunnel Saint-Clair (vue arrière).

mouvoir dans le sens progressif, en tournant de quantités correspondantes en sens contraire les vis des boucliers partiels, immobiles contre le front de taille. On a également combiné pour cette manœuvre l'emploi des presses hydrauliques avec celui des vis. Après ce poussage en avant, on ajoutait un nouvel arceau à la maçonnerie.

334 — Telle est l'esquisse de ce mémorable travail; son exécu-

Digitized by Google

tion a duré 18 ans, à cause des accidents qui l'ont traversée. Deux fois la Tamise est entrée dans le tunnel. On lui a refait un lit artificiel en noyant des masses d'argile, et reprenant ensuite l'opération. Le prix de revient s'est élevé au chiffre exorbitant de 46 000 francs par mètre courant.

Depuis lors, un nouveau percement a été exécuté par Barlow, près du premier, avec une section ronde de $2^m,13$ de diamètre seulement. Il a été achevé en un an, sur 405 mètres de longueur, et avec un prix de revient de mille francs environ par mètre courant; c'est-à-dire moitié moins cher que la première opération, si on les rapporte toutes deux au mètre carré de section.

Le tunnel exécuté sous la rivière Saint-Clair, entre les États-Unis et le Canada, a été creusé par un procédé analogue. Le bouclier (fig. 254) avait $6^m,47$ de diamètre.

Je citerai enfin, parmi les moyens exceptionnels qui peuvent être employés pour le percement des tunnels dans les terrains éminemment aquifères, l'*emploi de l'air comprimé* qui sera développé plus loin (N° 367), ainsi que celui de la *congélation du terrain* (N° 390).

Digitized by Google

CHAPITRE XIII

FONÇAGE DES PUITS A NIVEAU BAS

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS SUR LES PUITS

335 — *Dimensions des puits.* — Les puits de mines sont aussi appelés *fosses* dans le nord de la France et en Belgique quand ils débouchent au jour, *bure* ou *beurtia* lorsqu'ils se trouvent entièrement renfermés dans l'intérieur. On désigne sous le nom d'*avaleresse* un puits en fonçage, particulièrement quand il traverse des terrains aquifères.

La hauteur des puits peut varier depuis les valeurs les plus réduites jusqu'à d'énormes profondeurs. On a réalisé en 1875 le chiffre de mille mètres au puits Adalbert de Przibram, qui a été poussé depuis cette époque jusqu'à 1070 mètres (1). Celui de Damprémy, à Sacré-Madame (Charleroi), présente 1080 mètres de hauteur. Celui de Sainte-Élisabeth (charbonnage des Produits) est arrivé à 1150 mètres (2). En France, le puits le plus profond se

(1) Rechenschaftbericht über der Gebarung bei dem k. k. und mitgewerkschaftlichen Carl Borromei Silber und Blei Hauptwerke zu Przibram, 1885, 1886, 1887.

(2) *Journal de Mons*, 12 septembre 1890. — Les travaux de Viviers-Réunis, à Gilly (Charleroi), ont atteint la profondeur de 1065 mètres, en deux travées successives, formées d'un puits de service de 863 mètres et d'un bure de recherche de 202 mètres. Les mines d'argent de M. Mackay, à Virginia-City (Californie), se trouvaient en 1880 à près de 1000 mètres. (De Lesseps, Comptes rendus de l'Académie des sciences, XC, 1133.) — On a cité des chiffres beaucoup plus élevés encore, mais il paraît probable qu'il s'est produit quelques erreurs dans les unités de mesure (Mines de cuivre de Tamarock, Red Jacket, Michigan, 1260, 1275, 1972 mètres; *La Nature*, 1er décembre 1894.

Digitized by Google

trouve aux Salles-de-Gagnières (Gard). Il atteint 810 mètres (1).

336 — La section est souvent rectangulaire. Cette forme se subdivise facilement en compartiments destinés aux divers services, au moyen de bois d'entrefend, qui servent en même temps à contreventer les longs côtés. Il convient de placer le petit côté du rectangle parallèlement à la direction de la stratification. Il se trouve, pour résister à la coulée du terrain, dans de meilleures conditions que les bois de plus longue portée.

La section carrée est moins commode pour le service, tout en continuant à présenter l'inconvénient des angles vifs.

Dans les polygones réguliers d'un nombre croissant de côtés, les angles deviennent de plus en plus obtus et sont alors plus faciles à picoter et à calfater. En augmentant le nombre des voussoirs, on diminue la portée de chacun d'eux. Nous avons déjà vu que l'on en met quelquefois jusqu'à 26.

La limite dont on approche ainsi est la section circulaire. Elle présente sur toutes les autres l'avantage d'une parfaite symétrie quand les stratifications sont horizontales; mais, si les couches sont inclinées, cette propriété perd beaucoup de sa valeur. En même temps, l'aire totale devient plus difficile à utiliser pour les différents services, si ce n'est pour l'aérage.

Quant à la section elliptique, elle présente les mêmes inconvénients que le cercle, sans offrir la même simplicité. Elle ne se recommande que pour le cas où l'on voudrait opposer le sommet du grand axe à la poussée de terrains inclinés.

11). Toutefois les fonçages paraissent voisins de 1400 mètres dans les mines de cuivre argentifère du Lac Supérieur.

Humboldt rapporte que le puits tchèque de Kutna Horn (Küttenberg) approchait de 1000 mètres dès l'époque des guerres de religion, et qu'on le combla en y jetant 4000 cadavres. (Reclus, *Nouvelle géographie universelle*, III, 437.)

Comme éléments de comparaison, je rappellerai que les tours de Notre-Dame de Paris ont 66 mètres de hauteur, la flèche des Invalides 105 mètres, la flèche de Rouen 150 mètres; le Mont-Blanc 4810 mètres, le Gaurisankar 8840 mètres. MM. Glaisher et Coxwell, MM. Sivel, Crocé-Spinelli et Gaston Tissandier se sont élevés en ballon jusqu'à 8000 mètres. La plus grande profondeur de la Manche, sur le trajet du projet de tunnel, n'est que de 54 mètres. M. Walsh a trouvé le fond de l'Océan à 10424 mètres, près des côtes des États-Unis.

(1) On peut citer après lui : Plat-de-Gier (Loire), 777 mètres; Drocourt n° 2 (Pas-de-

Digitized by Google

Citons enfin la disposition trapézoïdale (fig. 255), qui ne saurait se justifier que par des circonstances exceptionnelles [1].

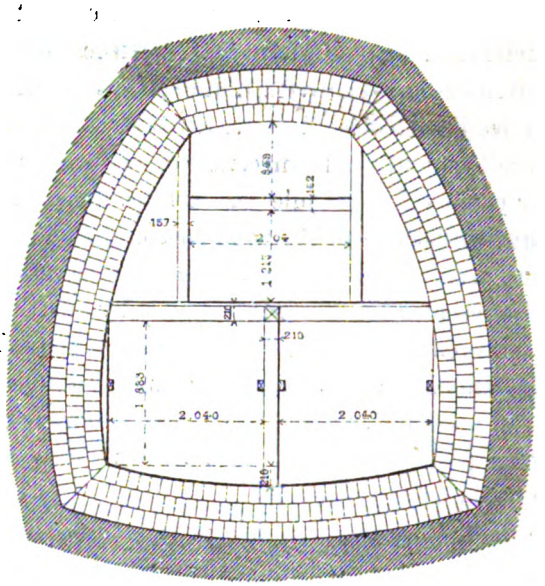


Fig. 255. — Puits n° 4 de Heinitz (coupe transversale).

337 — En ce qui concerne les dimensions de la section, l'on ne craignait pas autrefois de les réduire au delà de toutes les limites raisonnables. On rencontre encore en France quelques exemples de puits carrés de 1 mètre, et même $0^m,90$ de côté. Sauf pour des exploitations d'une étendue insignifiante, comme certaines carrières ou minières, une telle solution est détestable, car cette prétendue économie de fonçage pèse ensuite lourdement sur le service courant.

A une autre époque, on tendait trop souvent à verser dans l'excès contraire. On est arrivé à $6^m,50$ pour le diamètre de certains puits circulaires de Zwickau (Saxe), ce qui correspond à 33^{m^2} de section. Une fosse elliptique du pays de Galles est de $5^m,40$ sur

Calais), 716 mètres; Montchanin (Saône-et-Loire), 710 mètres; Anzin (fosse Dutemple), 700 mètres; Ronchamp, 694 mètres; Villebœuf (Loire), 650 mètres; Épinac (Saône-et-Loire), 648 mètres, etc.

[1] Cette forme a été employée à Heinitz (Sarre).

Digitized by Google

$6^m,60$; c'est-à-dire 28^{m^2}. A Kladno (Bohême), le puits rectangulaire Franz-Joseph a 2 mètres sur 10 mètres, soit 20^{m^2} de section; et le puits Engerth $4^m,40$ sur $9^m,00$, c'est-à-dire 40^{m^2}. Le puits de Wilkesbarre (Pennsylvanie) présente $3^m,43$ sur $13^m,73$ ou 47^{m^2}; enfin l'un de ceux des mines d'or de Berezowski avait $7^m,85$ sur $9^m,85$, soit 77^{m^2}. Ce produit d'une véritable aberration n'a d'ailleurs pas tardé à s'effondrer quand il est parvenu à la profondeur de 55 mètres.

On doit considérer comme des limites qu'il y a rarement lieu de dépasser, les diamètres de 3 à 5 mètres pour les puits circulaires, et des rectangles atteignant 2 à 3 mètres pour leur petit axe, et 4 à 6 ou 8 mètres au plus pour le grand côté; ce qui représente des sections variant depuis 7 ou 8^{m^2} jusqu'à 20 et 25^{m^2}.

Callon fait observer avec beaucoup de justesse qu'après qu'une discussion attentive des engins d'extraction, épuisement, descenderies, etc., aura déterminé la section nécessaire, tout excédent aura pour effet, sans améliorer en réalité ces services, de compliquer le fonçage, en accroissant la dépense et l'entretien. L'on n'aura même pas à en attendre, la plupart du temps, un avantage bien sensible pour l'aérage. En effet, la section des puits étant d'ordinaire considérable, et leur longueur peu importante par rapport à celles du réseau de galeries, la somme des résistances proviendra principalement de ces dernières, et sera peu influencée par l'élargissement du puits [1].

338 — *Aménagement des puits.* — On varie beaucoup le dispositif employé pour l'aménagement de la section. Souvent un puits ne correspond qu'à un seul service. Dans le Nord et le Pas-de-Calais, on adjoint au compartiment principal de certaines fosses un *goyot* d'aérage, au moyen d'une cloison parallèle au petit côté du rectangle, ou disposée suivant une corde du cercle. D'autres fois ce sera une descenderie, ou compartiment d'échelles.

On peut associer aussi l'extraction et les pompes d'épuisement

[1] La considération de l'aérage ne peut présenter d'importance que lorsqu'il s'agit d'un puits divisé en deux compartiments, dont l'un sert pour l'entrée d'air et la circulation des cages, l'autre pour le retour d'air (N° 338).

Digitized by Google

dans les deux parties d'un puits rectangulaire. On peut également réunir l'extraction, l'épuisement et une descenderie à l'aide de deux cloisons parallèles au petit côté, s'il est très réduit par rapport à la longueur. Dans le cas contraire, on disposera un seul entrefend dans ce sens, et, dans le compartiment ainsi formé, une cloison parallèle au grand axe. On a introduit récemment la tendance, assez discutable, d'armer de grands puits d'un double service d'extraction dans deux compartiments distincts (1).

M. de Villaine, à Montrambert, a au contraire localisé les diverses parties d'un même appareil dans deux fosses distinctes. Chacune des deux cages se meut seule dans l'un des puits. Elles sont rendues solidaires par la machine, située entre les deux. On pourrait en quelque sorte envisager ces deux puits comme les éléments d'un organe unique, présentant à la pensée pour sa section géométrique l'ensemble de deux cercles. En dehors de ce cas tout spécial, on fait encore un grand usage des *puits jumeaux*. On désigne sous ce nom le système de deux puits très rapprochés l'un de l'autre, et constituant un même siège d'exploitation. Dans l'un se trouvera par exemple l'extraction, et dans le second seront réunis tous les autres services. L'air entre par le premier et sort par le puits conjugué. Il est toutefois nécessaire d'imposer une limite au rapprochement de ces fosses, afin que le massif intermédiaire ne puisse être emporté par un coup de grisou, ni compromis par un éboulement ou par les tassements. Il conviendra de ménager entre elles un intervalle d'au moins 10 mètres. La loi anglaise exige à cet égard un minimum de 13^{m},50.

Les bures, ou *puits intérieurs*, rendent des services pour établir des communications entre les diverses parties des travaux. Quelques-uns ont pris une importance exceptionnelle. Je citerai comme exemple le *puits central* de Portes (Gard) (2). Il forme un siège

(1) Cette disposition existe à la nouvelle fosse n° 2 des mines de Drocourt (Pas-de-Calais), qui a 4^{m},50 de diamètre. Le grand compartiment dessert l'accrochage de 603 mètres à l'aide de cages à trois étages et six berlines. Par le plus petit, on extrait les produits du niveau de 706 mètres au moyen de cages à quatre étages, contenant chacun une seule berline.

(2) Babilot, *Annales*, 7e, VII, 432. — Cette installation vient d'être le théâtre d'un grave accident par l'explosion d'une de ses chaudières souterraines.

Digitized by Google

d'extraction, dont le mouvement ne se prolonge pas jusqu'au jour, mais s'arrête au niveau de la vallée dans laquelle on débouche en galerie.

Il existe enfin des *puits inclinés* [1], c'est-à-dire des montages d'une grande section et d'une pente tellement raide, que la circulation que l'on y établit se rapproche complètement du type de l'extraction verticale; seulement elle se trouve placée dans de mauvaises conditions. Cette situation exige, en effet, une plus grande longueur pour atteindre un niveau donné, ce qui représente un supplément de dépense de revêtement, de guidonnages, de câbles. Le frottement prend une importance plus grande par la composante du poids normale à la paroi, qui n'existe pas avec les puits verticaux. Le temps du trajet se trouve augmenté, tant par l'accroissement de la longueur que par la diminution de vitesse, imposée par la prudence dans ces conditions plus compliquées. L'activité de l'extraction sera donc atténuée, à moins que l'on ne rachète cet affaiblissement par le poids de l'enlevage et les dimensions transversales, ce qui exercerait un nouveau retentissement sur les chapitres de dépense que je viens d'énumérer.

La complication augmente encore pour certains puits, qui sont composés d'un tronc vertical, destiné à rejoindre le gîte, et d'un prolongement oblique, dirigé suivant sa ligne de plus grande pente. Cette disposition se rencontre dans certaines mines métalliques d'Angleterre, du Hartz, du Comstock. C'est en général pour avoir voulu obtenir trop tôt des résultats rémunérateurs, en plaçant le percement dans le minerai même, que les anciens ont légué à leurs successeurs tous les inconvénients de pareils puits, devenus définitifs.

Il importe toutefois de remarquer que dans le cas où l'on est très pressé d'exploiter, en restant en contact avec le gîte et évitant le temps perdu par le percement de travers bancs, le principe des puits inclinés reprend de l'avantage. C'est ce qui explique notamment son grand développement actuel dans les mines d'or du Transvaal.

[1] Au Hartz, en Saxe, à Idria, au lac Supérieur, à De Beers (Afrique australe), etc.

Digitized by Google

§ 2

FONÇAGE DES PUITS BOISES

339 — *Terrains non aquifères.* — Si le terrain est suffisamment solide, on n'a qu'à exécuter successivement les opérations de l'abatage et du boisage [1]. Après avoir effectué le fonçage sur la hauteur jugée convenable, on pose un cadre porteur au pied de cette travée, et sur cette base on élève des cadres successifs, en les établissant, autant que possible, en serrage contre la roche pour soulager le cadre porteur. C'est le *mode montant.*

Si, au contraire, le terrain ne peut être laissé à nu que sur de très faibles hauteurs, on emploie le *mode descendant.* On commence alors par poser, pour la première travée, un cadre de superficie, qui déborde largement sur les dimensions de la section, de manière à porter sur la roche ou sur un massif de maçonnerie; et pour chacune des suivantes un cadre porteur, enclavé dans des potelles et appelé à jouer le même rôle que le précédent. On se rattache alors à ce point d'appui en suspendant les uns aux autres, au moyen d'écoins, les cadres successifs, chaque fois que l'on s'est approfondi suffisamment pour la pose d'un nouveau cadre. On apporte encore le même soin à les mettre tous en serrage, en vue de soulager les écoins et le porteur.

Dans des conditions que l'on puisse appeler ordinaires, et en excluant les difficultés spéciales dont nous allons parler dans un instant, on peut admettre que ces procédés de fonçage, appliqués à un puits de 4 mètres de diamètre, pour fixer les idées, occasionneront une dépense variant de 300 à 600 fr. par mètre courant, suivant les circonstances.

[1] Habets, *Creusement des puits et galeries*, in-8°. — Nouveautés dans le fonçage des puits, *Dingler's polytechnisches Journal*, 19 février, 11 mars 1892, 30 novembre 1894, 199. — Schultz, Forage des puits, *Handbuch der Ingenieurwissenschaften*, 1885. — Système Haas pour le fonçage des puits dans les terrains mouvants, *Société des ingénieurs allemands*, 21 août 1886. — Avery, Fonçage des puits dans les terrains aquifères, *Engineering*, 16 octobre 1891, 461. — Simonis, Notice sur le rétablissement d'un puits éboulé, *Annales des travaux publics de Belgique*, XVI, 387.

Digitized by Google

340 — Si le terrain est absolument inconsistant, sans être encore aquifère d'une manière caractérisée, on franchit cette passée au moyen du poussage (fig 256), tel qu'il a été décrit pour les galeries. On remarquera toutefois, à l'avantage du cas actuel, que tout devient symétrique autour de l'axe, et que les diverses parois y jouent des rôles identiques; tandis que, pour une galerie, la pesanteur sollicite d'une manière très variable la sole, le plafond et les piédroits.

En outre, le front de taille étant horizontal et placé sous les pieds de l'ouvrier, au lieu d'être vertical comme à l'avancement d'une galerie, il est inutile, tant que l'on ne se trouve pas encore engagé dans des difficultés spéciales, d'introduire la complication du bouclier.

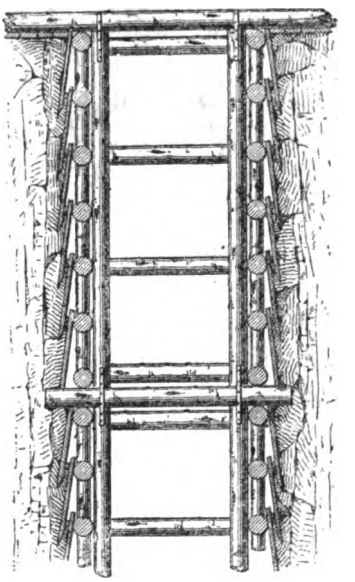


Fig. 256. — Fonçage au poussage (coupe verticale).

341 — *Terrains aquifères.* — Il reste enfin à considérer le cas d'un terrain éminemment aquifère. Certaines régions présentent ce caractère au plus haut degré, comme les départements du Nord et du Pas-de-Calais, ainsi que la partie adjacente du bassin belge, celui de la Moselle, une partie de la formation de Newcastle, celle de la Ruhr, etc. La traversée des morts-terrains tertiaires ou crétacés, et quelquefois plus anciens, qui recouvrent ces formations houillères (fig. 5 et 6, p. 12), constitue certainement l'un des plus formidables obstacles qu'ait jamais eu à vaincre l'art du mineur. La rencontre du terrain houiller met ordinairement fin à ces difficultés spéciales. Il se trouve, dans le bassin franco-belge, recouvert d'un banc assez mince de poudingue, appelé *tourtia*, représentant le grès vert, et surmonté lui-même d'une masse puissante d'argile, que l'on désigne sous le nom de *dièves* et qui

Digitized by Google

maintient les eaux supérieures, en protégeant contre leur invasion les couches subordonnées.

Les morts-terrains eux-mêmes ne sont pas uniformément spongieux sur toute leur hauteur. Leur stratification présente des alternances, au milieu desquelles une ou plusieurs strates spéciales donnent des quantités d'eau considérables. On les appelle des niveaux d'eau, ou simplement des *niveaux*. Jusqu'à ce que l'on rencontre l'un d'eux, les moyens précédents permettent de s'approfondir progressivement. Quand on arrive à un semblable lit, on s'efforce de *passer le niveau*, en épuisant à l'aide de pompes, parfois colossales, l'eau qui ne cesse d'envahir le chantier. Lorsque l'on est parvenu à une couche plus solide et moins aquifère, on pose dans ce banc un cadre spécial, appelé *trousse picotée*. Il est destiné à former une ceinture étanche, que l'eau du niveau ne puisse franchir en filtrant entre elle et la roche. Si l'on élève ensuite sur cette base un cuvelage qui soit étanche par lui-même, l'intérieur du puits se trouvera définitivement défendu contre l'accès des eaux. Ces opérations étant effectuées, on recommence à s'approfondir, et lorsqu'on rencontre un autre niveau, l'on reprend une série analogue de travaux.

Nous aurons d'après cela, dans cette longue et minutieuse description, à examiner trois points distincts : 1° la pose de la trousse picotée, 2° l'élévation d'une retraite de cuvelage sur cette trousse, 3° le raccordement du sommet de cette colonne avec la face inférieure de la trousse précédente.

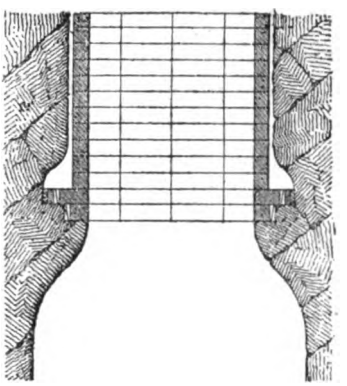
342 — Pour établir une trousse picotée, on commence par poser sur le fond de l'avaleresse un cadre formé de pièces juxtaposées [1], qui est à proprement parler la trousse (fig. 257, 258). Il laisse entre lui et le terrain un vide de quelques centimètres, dans lequel on insère la *lambourde*. Elle est formée d'une série de ma-

[1] La plupart du temps la trousse est en bois de premier choix. Quelquefois, cependant, elle est composée de pièces de fonte, qui forment par leur réunion un cylindre, muni à l'extérieur de saillies disposées suivant les plans méridiens, et entre lesquelles s'insèrent des blocs de bois qui débordent un peu le métal. C'est contre ces derniers que s'applique alors la lambourde.

Digitized by Google

driers de 4 centimètres d'épaisseur, introduits de champ. On force des coins entre la lambourde et la roche; puis on les retire l'un après l'autre avec un levier fourchu, et l'on insère, dans le vide qu'ils laissent, de la mousse que l'on y bourre à refus.

Lorsqu'il devient impossible d'introduire de nouvelles quantités de mousse, on s'occupe de la mettre en serrage contre le terrain. Il s'agit pour cela de l'y repousser à l'aide de la lambourde. On écarte à cet effet cette dernière de la trousse, par l'introduction d'une double ceinture de plats-coins. On commence par insérer à coups de masse des plats-coins, ayant pour section un triangle rectangle. Quand ils sont en place en déterminant un serrage énergique, on ne saurait laisser les choses en cet état, car les forces, en les supposant pour simplifier normales aux faces de ces prismes, seraient inclinées sur l'horizon et tendraient à déjeter le système. Pour prévenir cet effet, on retire l'un après l'autre les plats-coins, en les soulageant par l'introduction d'une *agrappe à picoter*, instrument de fer qui a la forme d'une pyramide à base carrée très aiguë [1]. Cette dernière supportant pour son propre compte la tension établie entre la trousse et la lambourde, le plat-coin devient libre et l'on peut le retirer. On le réintroduit à l'instant même sens dessus dessous, en lui en juxtaposant un second la tête en haut, et l'enfonçant à coups de



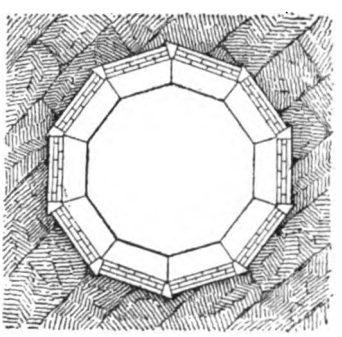


Fig. 257 et 258. — Trousse picotée (coupes verticale et horizontale).

[1] Il est très essentiel de ne pas abandonner, dans le picotage, de tronçon d'agrappe brisée. En se détruisant avec le temps par la rouille, il ouvrirait un passage à l'eau.

Digitized by Google

masse. Ces angles égaux ainsi placés dans une situation alterne-interne, assurent le parallélisme des deux côtés qui ne sont pas en coïncidence. Les forces normales à ces côtés se trouvent dès lors en prolongement, et n'exercent plus aucune tendance au déversement.

Quand cette double ceinture de plats-coins est installée entre la trousse et la lambourde, elle détermine le serrage le plus énergique suivant les directions radiales, mais non pas encore dans le sens tangentiel. Pour obtenir ce dernier effet, on enfonce entre les couples de plats-coins des picots carrés, en préparant au préalable leur emplacement avec l'agrappe.

A ce moment, on recèpe toutes les têtes de picots dans le plan horizontal de la trousse, puis on enfonce de toutes parts, dans les moindres interstices et dans le corps même des coins, l'agrappe en fer, et à sa suite des picots de chêne séchés au four. Ce bois, pénétré par l'eau, se gonflera en ajoutant encore au serrage. On ne cesse ce picotage que lorsqu'il devient absolument impossible de faire pénétrer nulle part l'agrappe. Il peut entrer ainsi environ 3000 picots, coins, plats-coins, dans une trousse présentant 4 mètres de diamètre dans œuvre. De nouveau l'on recèpe toutes les têtes de picots, et l'on pose une seconde trousse picotée sur la première[1]. Si celle-ci a pris un peu de déversement, on prépare les bois de la seconde avec un angle alterne-interne égal, de manière à réaliser l'horizontalité de son plan supérieur, qui doit servir d'assiette à la colonne de cuvelage[2].

343 — Pour élever cette retraite, on assemble successivement les cadres qui la composent; en même temps l'on calfate avec de

[1] Parfois même un plus grand nombre.

[2] Dans ces opérations minutieuses, chaque détail a une importance essentielle, et rien ne saurait dispenser de l'expérience spéciale à acquérir de ce genre de travaux. Le traité de M. Glépin (*De l'établissement des puits de mines dans les terrains ébouleux et aquifères*, 1867, in-4°) peut être considéré comme une monographie de ces difficiles opérations. On consultera également avec fruit les sources suivantes : Lévy, Fonçage des puits de mines à travers les terrains aquifères (*Bull. min.*, 1re, XIV, 231, 401, 607). — Alayrac, Note sur le creusement de la fosse n° 5 de Courrières (*Bull. min.*, 2e, VI). — Chavatte, Creusement des puits de Saint-Saulve (*Bull. min.*, 2e, V). — De Francy (*Annales*, 5e, II).

Digitized by Google

l'étoupe goudronnée tous les joints des voussoirs entre eux et avec ceux du cadre inférieur. C'est l'opération du *brandissage*. On y cloue ensuite des couvre-joints. Au lieu de procéder par cadres distincts, on fait quelquefois chevaucher les uns sur les autres les joints horizontaux, pour établir une liaison plus complète. On obtient ainsi des cuvelages *lozingués*. Dans le même but, on a imaginé de réunir les voussoirs superposés par des broches en fer, qui pénètrent à la fois dans tous les deux; mais cette pratique complique beaucoup les réparations ultérieures.

Comme on a dû, pour le fonçage, se garantir au moyen d'un boisage provisoire, on détruit celui-ci pièce à pièce, au fur et à mesure de la progression du cuvelage. On pilonne du béton hydraulique derrière les cadres, pour unir le bois à la roche, en vue d'éviter que celle-ci vienne plus tard au contact avec une force vive irrésistible, si on lui laissait des vides à parcourir. En outre cette colonne de béton sert à isoler les diverses zones de revêtement les unes des autres, et par rapport aux niveaux[1], de manière à faciliter pour l'avenir les réparations. On pourra en effet alors hacher chaque pièce sur place, en se trouvant défendu, en partie du moins, par cette colonne de béton. On a soin, pour qu'il ne soit pas complètement délayé pendant la pose, de pratiquer dans quelques voussoirs des trous de tarière, par lesquels l'eau puisse s'écouler sans stationner par derrière. Il suffit ensuite d'aveugler ces trous avec des chevilles de bois. On peut également disposer sur quelques-uns d'entre eux des tubulures à vis, disposées pour recevoir un manomètre, quand on voudra *tâter les niveaux* et savoir à quelle pression se trouvent soumises les diverses parties du revêtement.

Au fur et à mesure que le cuvelage s'élève, on laisse monter l'eau presqu'au niveau du travail, en s'échafaudant sur des planchers volants suspendus à des chaînes. D'un côté, cela tend à diminuer la hauteur d'épuisement; mais surtout on supprime ainsi, dans les premiers temps de la prise générale de l'ouvrage, la pression

[1] Cette pratique doit être considérée comme préférable à celle par laquelle, au contraire, on établissait un *renvoi de niveau*, en mettant volontairement tous les niveaux en communication derrière le cuvelage.

Digitized by Google

DÉSIGNATION			DÉPENSE		DIAMÈTRE		PROFONDEUR	DURÉE TOTALE
	PUITS	RÉGION	TOTALE	PAR MÈTRE COURANT	FORÉ	UTILE		
			Francs	Francs	Mètres	Mètres	Mètres	Mois
AVALERESSES RÉUSSIES	Freyming	Moselle	3 709 000	21 194	4,50	4,00	175	84
	Carling	Moselle	2 200 000	14 360	5,00	4,08	153	54
	St-Pierre	Nord	1 071 192	6 264	4,50	4,00	151	66
	Thiers	Nord	808 648	6 220	4,75	4,00	65	24
	Marles	Pas-de-Calais	424 753	5 778	4,54	4,00	73	27
	Providence	Westphalie	217 500	870	»	4,50	53	16
	Haveluy	Nord	103 571	1 210	4,50	4,00	43	7
AVALERESSES ABANDONNÉES	Merlebach	Moselle	3 500 000	23 650	4,50	4,07	148	84
	Ste-Stéphanie	Moselle	2 400 000	10 910	4,70	4,00	110	102
	Malbosc	Gard	1 118 000	8 000	4,50	4,00	138	84
	Falk	Moselle	924 000	17 271	4,70	4,20	53	28
	L'Escarpelle N° 2	Nord	600 000	25 000	4,50	4,00	25	30

hydrostatique à laquelle il aura plus tard à résister, en la laissant pour le moment agir aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.

344 — Il reste enfin à raccorder l'ouvrage avec la trousse picotée sur laquelle repose la retraite précédente. On a eu soin, pour s'approfondir, de laisser sous cette dernière une console de roche suffisante, en s'élargissant en dessous pour reprendre le même diamètre. Quand on parvient à cette corniche, on la détruit progressivement de manière à faire la place de chacun des derniers cadres. Celui qui arrive au contact de la trousse porte le nom de *clef*. On n'abat pas, du reste, cette corniche d'un seul coup sur toute sa circonférence, mais au contraire par portions successives, en comblant immédiatement chacune d'elles par le voussoir correspondant.

On rencontre toutefois une difficulté spéciale pour le dernier voussoir de la clef, qui est, comme tous les autres, plus large à l'extérieur qu'à l'intérieur, et doit cependant pouvoir entrer par le

Digitized by Google

AVANCEMENT		VENUE D'EAU	POMPES		NATURE du CUVELAGE	NATURE DU TERRAIN
Mètres par mois	Jours par mètre	Hectolitres par minute	NOMBRE	DIAMÈTRE Mètres		
2,08	14,40	105	4	0,70	Bois	Grès très fissuré et très aquifère.
2,83	10,50	58	4	0,55	Bois et fonte	Grès très fissuré et très aquifère.
1,29	23,13	150	4	0,40	Fonte	Sables mouvants, craie.
2,70	11,08	450	4	0,70	Bois	Sables mouvants, gravier, craie.
2,72	11,02	»	4	0,50	Bois	Craie fissurée, marnes friables.
15,62	1,90	»	»	»	Fonte	Craie.
6,11	4,90	»	»	»	Bois	Craie solide.
1,76	17,20	105	4	0,70	Bois	Grès des Vosges, grès rouge.
1,30	23,19	100	2	0,55	Fonte	Grès très fissuré et très aquifère.
1,87	16,05	125	4	0,50	Fonte	Calcaires, grès, marnes, gypse.
1,90	15,70	100	2	0,70	Bois	Grès très fissuré et très aquifère.
0,71	41,80	600	4	0,50	Bois	Craie fendillée.

vide de l'intrados. On en est quitte pour pratiquer dans la roche une cavité, permettant d'introduire cette pièce de biais et de l'y tourner ensuite, de manière à la ramener en place à l'aide de poignées vissées, que l'on démonte en terminant. On coule, autant que possible, du mortier de ciment à travers les joints pour combler le vide, et l'on calfate ensuite ces derniers.

345 — La pose d'une trousse picotée est un spectacle qui ne manque pas de grandeur. Les hommes travaillent sur tout le périmètre, en aussi grand nombre qu'il est possible d'en employer sans arriver à la confusion. Ils sont souvent dans l'eau jusqu'aux genoux, et par moments jusqu'à la ceinture. Ces *passeurs de niveau* font des postes de quatre heures qui leur sont payés 5 francs et plus. La pose d'une trousse exige de vingt-quatre à quarante-huit heures. Ce travail se fait au bruit des pompes les plus puissantes qu'il soit possible d'installer dans la section des puits. Les venues d'eau se comptent en effet souvent par centaines

Digitized by Google

de mètres cubes à l'heure. On en a constaté 1300 à l'avaleresse n° 5 de Courrières, 1500 à Ciply (Belgique). Des pressions de 30 à 60 mètres peuvent être considérées comme moyennes. Tous les puits d'alimentation du voisinage, destinés aux usages domestiques ou autres, se trouvent asséchés dans un rayon assez étendu.

Lorsque tous les moyens d'action sont épuisés sans que l'on ait réussi à battre les eaux, il reste la ressource de foncer une seconde avaleresse dans le voisinage immédiat de la première. L'entretien d'eau augmente alors comme total, mais sans atteindre le double (N° 126), tandis que l'on double ainsi l'emplacement disponible.

Rien n'est plus variable que le prix de revient des avaleresses. Le tableau des pages 392-393 (1) en présente quelques exemples.

§ 3

FONÇAGE DES PUITS MURAILLÉS

346 — *Coordination des retraites.* — Ce n'est que pour de faibles profondeurs que l'on exécute d'un seul coup le muraillement d'un puits, du fond jusqu'à la surface. Ordinairement on le compose de *retraites* distinctes, dont chacune repose sur un rouet-porteur.

Nous devons distinguer plusieurs cas pour la pose de cette roulisse. En premier lieu, elle peut être installée directement sur le fond du puits, ou sur une retraite inférieure de maçonnerie déjà exécutée au-dessous, si la solidité de la roche a permis d'aller jusqu'au fond avant de commencer le revêtement. C'est le cas le plus simple.

Si au contraire on a dû commencer le muraillement avant d'avoir atteint la profondeur définitive, on loge le rouet dans des potelles de la roche, en choisissant pour cela les meilleurs bancs, à moins que l'on ne puisse se contenter de le colleter au ferme.

Quand on ne peut trouver nulle part de paroi suffisamment

(1) Dressé à l'aide des documents insérés par M. Pernolet dans l'Agenda Dunod pour les mines, 1882, 76.

Digitized by Google

solide, on suspend le rouet, à l'aide de longues tringles de fer, à un grand cadre-porteur placé au jour et débordant largement sur la section du puits. Lorsque la retraite du cuvelage de maçonnerie aura été élevée sur ce rouet, et colletée au ferme de toutes parts pour soulager le porteur, on posera plus bas un nouveau rouet, à l'aide de tringles que l'on attache à des corbeaux encastrés dans des potelles (fig. 259). On construira sur cette base une nouvelle retraite, et quand elle sera venue soutenir la roulisse précédente, on pourra débarrasser celle-ci de ses tringles de suspension. L'opération continue ainsi de proche en proche.

De toutes manières, on finit par atteindre la base du puits, sur laquelle on établit une fondation solide, pour soutenir définitivement cette immense tour. Si le fond ne présente pas une solidité suffisante, on y bat des pilotis et l'on y pose un grillage. On peut également le garnir d'une voûte sphérique renversée, très surbaissée.

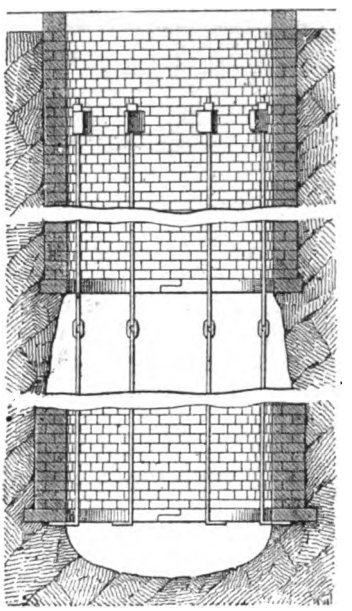


Fig. 259.
Construction d'une retraite de cuvelage.

347 — *Exécution d'une retraite.* — Détaillons maintenant la manière de construire une retraite, depuis son rouet porteur jusqu'à la roulisse supérieure.

Les maçons s'échafaudent successivement, avec des barres de bois qu'ils logent dans des vides de la maçonnerie, lesquels sont remplis ultérieurement. A la vérité, ce procédé nuit à la netteté de l'ouvrage. Il est préférable, pour ce motif, quand il s'agit d'un puits d'extraction, de poser de suite les guides en charpente, au fur et à mesure de l'élévation du muraillement. Les moises de ce guidonnage suffisent alors pour s'échafauder.

Digitized by Google

On peut enfin se servir de planchers volants, supportés par des chaînes, que l'on remonte successivement. Ce plancher a souvent la forme d'un cuveau, muni de rebords d'une hauteur un peu moindre qu'un mètre. On l'appelle la *benne aux réparations*.

Il existe également un système plus perfectionné (fig. 260). Le plancher A est alors muni d'une sorte de tonne cylindrique B, formant gabarit pour la pose du muraillement, et munie sur son pourtour de quelques pattes de sûreté C, qui en cas de rupture des chaînes retiendraient le système sur le bord de la maçonnerie. L'appareil est à deux étages. Un trou d'homme D, pratiqué dans le premier plancher A, permet de descendre sur le second E, relié au précédent par des tringles ou des chaînes F. De cette manière, on procède au récrépissage des joints de la partie qui vient d'être exécutée, tandis qu'une autre équipe travaille en A pour maçonner ou déboiser un nouveau cadre [1].

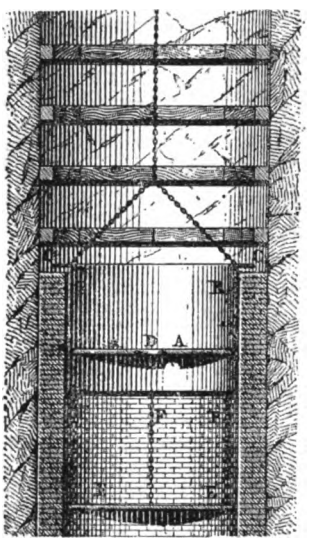


Fig. 260. — Plancher volant.

348 — Il est en effet nécessaire de démonter successivement le boisage provisoire, si l'on a dû en poser un pendant le fonçage. Lorsque la nature des parois ne permet pas de supprimer un cadre entier d'un seul coup, on l'enlève morceau par morceau, en remplaçant chacun d'eux par de la maçonnerie. On hachera au besoin chaque pièce, en muraillant par fractions encore moindres. Si enfin il demeure impossible de faire disparaître aucune partie du boisage, on en est réduit à inscrire un cylindre de maçonnerie dans le prisme de bois, en bourrant du béton dans tous les intervalles.

[1] Guchez. Notice sur le palier suspendu de M. Plumat (*Annales des travaux publics de Belgique*, XLI).

Digitized by Google

Cette couronne de béton existe d'ailleurs dans tous les cas, lors même que l'on parvient à retirer les bois. On a soin, avant de la couler, de mettre le revêtement en serrage, en le coinçant contre la roche à l'aide de pierres qui forment coin. On ne saurait, pendant ce bétonnage, laisser stationner sur la tête de l'ouvrage l'eau qui coule le long des parois. Le béton se délayerait totalement dans ce bain. On dispose un tuyau de fonte à la base du puits à travers la maçonnerie. Il permet au liquide de rentrer dans l'intérieur, et l'on en ménage la descente jusqu'à ce point, à travers la masse du béton, à l'aide d'un tuyau métallique ou de planches assemblées en forme de prisme triangulaire. On laisse du reste, pour les mêmes motifs que dans les puits boisés (N° 343), monter le plan d'eau de manière qu'il suive de près les progrès du muraillement.

Lorsqu'on arrive à la corniche que l'on avait ménagée pour plus de sûreté sous la roulisse précédente, on l'abat par portions, prises de deux en deux, en remplaçant chacune d'elles par un segment de maçonnerie. Puis on détruit de même les entre-deux, quand la roulisse se trouve supportée sur ces premiers piliers, dont on complète la continuité en achevant le muraillement.

§ 4

AGRANDISSEMENT D'UN PUITS

349 — *Elargissement d'un puits.* — Deux questions se présentent pour l'agrandissement des puits : l'élargissement de la section, ou l'augmentation de la profondeur.

Quand il s'agit d'élargir un puits [1], on peut suspendre à des chaînes un plancher volant qui en ferme la section, et battre au large, en revêtant la nouvelle paroi au fur et à mesure de l'approfondissement, comme dans un fonçage ordinaire.

M. Locard avait imaginé, pour un puits de Beaubrun (Loire), de

[1] Macquet, Élargissement d'un puits, *Rev. univ. d. m.*, 2e, XVII, 189. — Vanhassel, Nouvelles méthodes pour l'élargissement d'un puits, *Bull. min.*, 3e, VIII, 885. — Linet, Remplacement d'un cuvelage en bois par un revêtement en maçonnerie sans interrompre le service, *Rev. univ. d. m.*, 3e, XXVII, 153.

Digitized by Google

le remplir complètement de fascines, sur lesquelles on travaillait sans aucun danger, et que l'on extrayait, en même temps que les déblais, au fur et à mesure de l'abaissement du chantier [1].

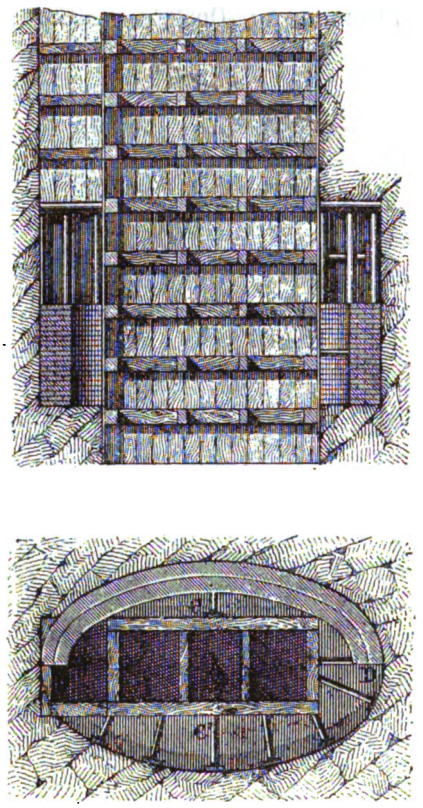


Fig. 261 et 262. — Élargissement d'un puits (coupes verticale et horizontale).

On a réussi, à Ougrée, à élargir sous la forme elliptique (fig. 261, 262) la section d'un puits rectangulaire A, sans en interrompre le fonctionnement. Dans ce but, on fonça sur une certaine hauteur, à l'extrémité du grand axe du rectangle, une chambre B jusqu'au sommet de celui de l'ellipse. Puis de là on fit partir par C et C', entre le boisage et la roche, deux couloirs latéraux se rejoignant en D. Les cadres étaient arc-boutés au moyen d'étrésillons, tandis que s'exécutait le muraillement. A cet anneau elliptique en succédèrent d'autres, sur toute la hauteur. Enfin, lorsque la nouvelle paroi fut prête, on profita d'un court chômage pour démonter l'ancienne, et le service fut repris presque sans interruption.

350 — *Réavalement d'un puits.* — Pour accroître la profondeur, il se présente deux procédés très différents : le *réavalement*, et le *fonçage sous stot*.

[1] On a remblayé sur 500 mètres le puits Conchoux, au Plat-de-Gier, pour procéder à son élargissement.

Digitized by Google

Le réavalement n'est autre chose que la reprise du fonçage par les moyens ordinaires. Il faut à cet effet établir directement, ou en profitant d'anciens travaux, un réservoir suffisant pour contenir les eaux, puisqu'il s'agit tout d'abord de détruire le puisard. Un tuyau sert alors, pendant les intervalles désignés pour cette opération, à déverser le liquide dans des bennes qui l'élèvent au jour.

L'avantage de ce mode direct est de pouvoir employer à l'extraction des déblais, la machine déjà installée pour le fonctionnement du puits. De plus, point très important, on est alors absolument sûr de la rectilignité des guidonnages, que l'on établit en continuant les anciens. Enfin, l'opération reste moins compliquée et plus économique que le fonçage sous stot.

Mais, en revanche, cette méthode présente l'inconvénient d'arrêter le service d'extraction, sans quoi les travailleurs se trouveraient placés dans une situation des plus dangereuses, exposés sans abri à la chute des cages, des wagonnets, ou d'objets, même petits, qui en tombant d'une grande hauteur acquièrent une force vive redoutable. On a employé à Lens une fermeture dont les deux moitiés se soulevaient en laissant passer la benne, et reprenaient ensuite leur position pour la protection du poste. On avait soin en outre de ne pas remplir entièrement les vases d'extraction.

351 — *Fonçage sous stot.* — Pour éviter cette cause d'accidents, on préfère souvent laisser sous le puisard un stot [1] d'une épaisseur suffisante [2], et l'on vient par-dessous foncer, à l'état de bure, une travée supplémentaire dans le prolongement géométrique des parois actuelles. On ne supprime le stot qu'au dernier moment, pour raccorder le nouveau puits avec l'ancien [3].

(1) Stock, stot, estau. — H. Glépin. Fonçage sous stot (*Rev. univ. d. m.*, 1re, XXXI, 1). — Demanet, Fonçage des puits en montant (*Annales des travaux publics de Belgique*, XXVIII, 77). — Lange, Fonçage sous stot du puits Descours (Rochebelle), *CRM*, 1889, 31. — Chansselle, Percement en remontant dans une mine à grisou, *Bull. min.*, 2e, III, 445.

(2) C'est là un point absolument essentiel. On a vu la chute d'une benne défoncer un stot trop mince, et anéantir les mineurs dans leur chantier. On peut se contenter d'une épaisseur de 4 mètres dans un terrain très solide; mais on fera bien, souvent, d'aller jusqu'à 10 mètres.

(3) A la fosse N° 1 de Liévin, au lieu de réserver une certaine épaisseur de terrain,

Digitized by Google

Il est pour cela nécessaire de repérer l'axe très exactement, soit au moyen d'opérations de topographie souterraine, soit en crevant le puisard par un coup de sonde exactement central, que l'on rebouche ensuite, mais dont on retrouve ultérieurement la trace au-dessous. On a d'ailleurs la ressource d'y passer un fil à plomb, en détournant les eaux, ce qui assure la plus grande précision.

Une fois que l'on est parvenu sous le stot par des voies latérales, on peut suivre, pour le creusement du puits, quatre modes distincts :

1° Le mode descendant, c'est-à-dire la méthode ordinaire de fonçage, avec quelques modifications spéciales sur lesquelles nous reviendrons dans un instant.

2° Le mode montant. On rejoint alors le pied du puits futur, et on l'ouvre de bas en haut en abattant la roche au-dessus de la tête. On y trouve l'avantage de ne pas être gêné par l'eau, et d'asseoir la maçonnerie plus aisément; mais, en même temps, l'inconvénient d'être obligé, après avoir descendu les déblais jusqu'au fond, de les extraire tous de ce niveau. Avec le premier système, au contraire, on n'enlève chaque partie que de son emplacement naturel, ce qui, sur l'ensemble, réduit théoriquement de moitié le travail d'extraction.

Cette seconde méthode se recommande surtout pour les cas où il existe déjà des bures de communication avec le niveau inférieur. S'il faut au contraire en creuser un tout exprès, l'opération se trouve chargée par là d'une lourde dépense. On peut du moins recommander pour ce cas, s'il existe à proximité quelque puits non utilisé pour l'extraction, de remplacer le bure par un réavalement de ce dernier. On épargnera ainsi pour l'avenir un nouveau fonçage, si l'on devait arriver à vouloir approfondir ce puits, et la dépense se trouvera dans ce cas répartie sur deux opérations distinctes.

3° Une troisième méthode consiste à rejoindre, non plus le pied

on a créé, au-dessous du dernier accrochage en service, une sorte de stot artificiel, formé de trois planchers doubles en fer, surmontés d'un quatrième incliné et de guides convergents. Puis l'approfondissement a continué sous cette protection avec l'aide d'une machine à air comprimé. Les déblais gagnaient par une galerie de niveau l'accrochage d'un autre puits voisin.

Digitized by Google

du puits futur, mais un point intermédiaire, et à développer à partir de là deux chantiers, l'un montant, l'autre descendant, qui réalisent respectivement les deux types précédents. On arrivera ainsi à doubler la rapidité du percement.

4° Dans ce même ordre d'idées, on a quelquefois [1] attaqué la hauteur sur un certain nombre de points, en installant pour chacun d'eux une double équipe, comme dans le cas précédent. On réalise de cette manière le maximum d'activité. Il n'est pas inutile de faire remarquer l'analogie de cet artifice avec celui qui consiste à attaquer un tunnel à l'aide de puits en plusieurs points intermédiaires (N° 323).

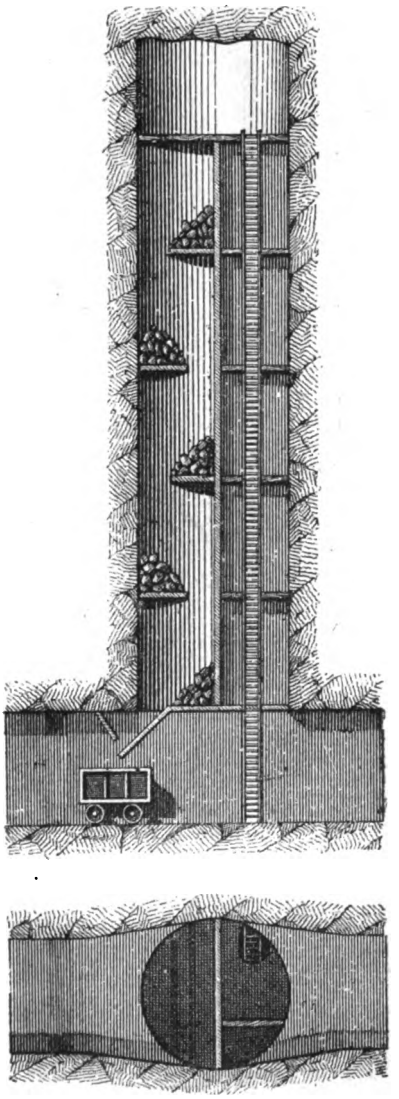


Fig. 263 et 264. — Fonçage sous stot. Ouvrage montant, planchers en chicane (coupes verticale et horizontale).

352 — On voit qu'en définitive, ces diverses méthodes ne comportent que deux types distincts de chantiers : *montant* ou *descendant*.

Le chantier montant peut lui-même s'établir de deux manières différentes.

Le premier mode est celui des *planchers en chicane* (fig. 263, 264). Ils permettent

[1] Au puits Mécanique (Sacré-Madame), à la fosse Renard (Anzin), à Créal (Bessèges), etc.

Digitized by Google

aux hommes de monter de l'un à l'autre, et aux matériaux de descendre en sens contraire.

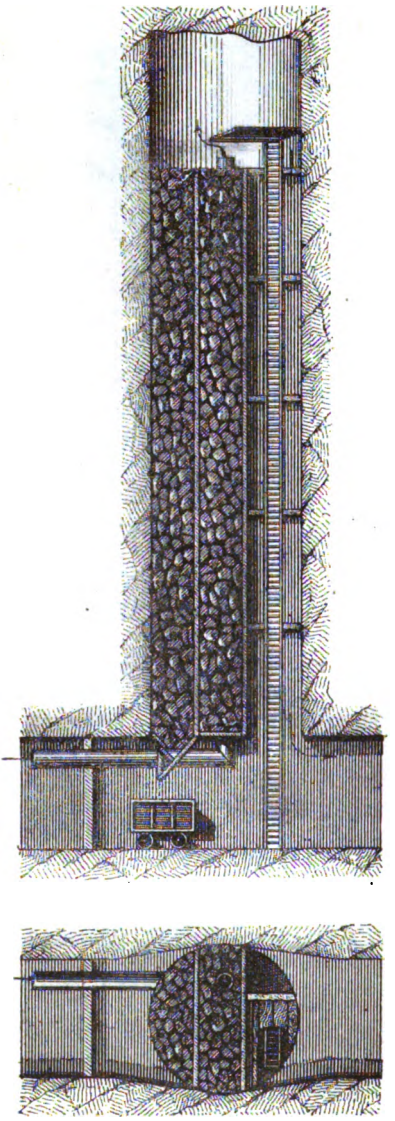


Fig. 265 et 266. — Fonçage sous stot. Ouvrage montant, sur remblai (coupes verticale et horizontale).

Dans la *méthode de remblai*, on cloisonne le puits, comme l'indiquent les figures 265 et 266. Un segment reste libre pour le passage des hommes et la montée de l'air, avec un compartiment qui sert à la descente du courant. La partie intermédiaire est remblayée à plein, et forme un échafaudage commode pour le travail. Enfin l'autre segment est également remblayé, mais au-dessus d'une trappe placée à la partie inférieure, de manière à constituer une *cheminée* pour écouler ces matières dans les wagonnets (N° 477). On se débarrasse par cette voie de tout l'excès des matériaux, en ne conservant que ce qui est nécessaire pour exhausser le remblai. Celui-ci est également destiné à s'écouler à son tour par le même chemin, mais seulement lorsque l'opération est terminée, et que l'on déboise les compartiments du haut en bas.

353 — Quant au chantier descendant, il a reçu également diverses dispositions.

Digitized by Google

Aux mines d'Aniche, on a réussi un percement sous stot en évitant l'installation d'un moteur intérieur. Un câble reliait le fon-

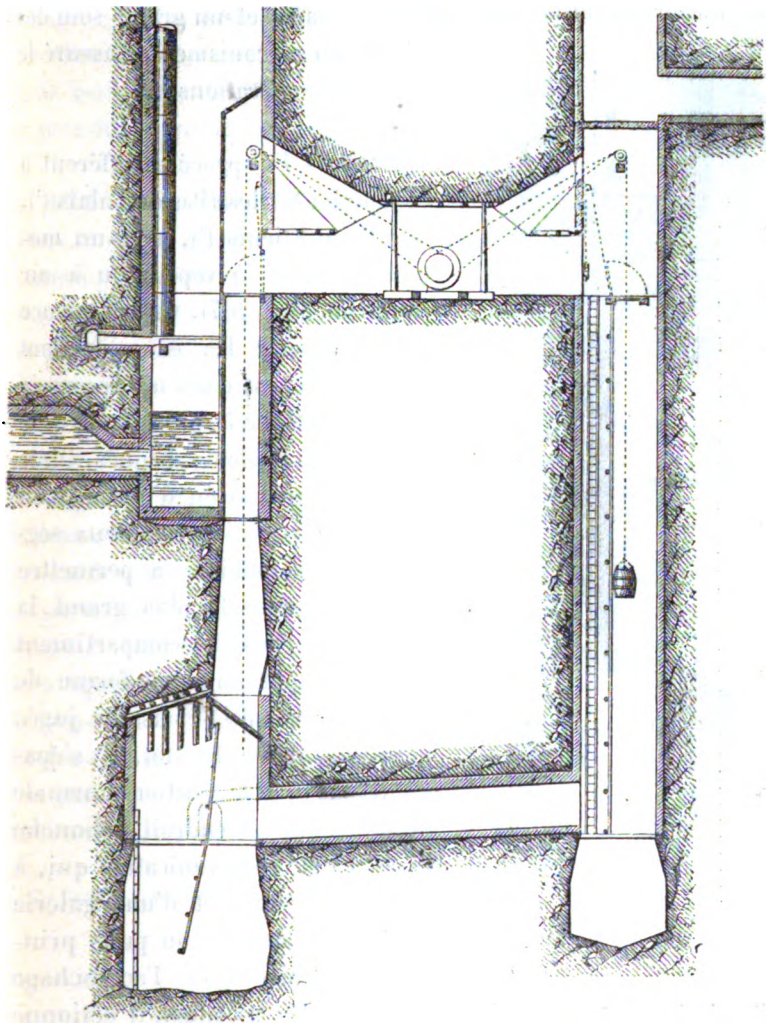


Fig. 267. — Fonçage sous stot. Ouvrage descendant, avec bure latéral.

çage avec une machine d'extraction placée au jour, à l'aide de quatre renvois de mouvement, pour passer du puits de service dans une courte galerie, dans un petit bure latéral, dans une

Digitized by Google

seconde galerie de raccord, et enfin dans le sous-stot. On pouvait redouter de sérieuses difficultés pour un fonctionnement aussi compliqué, avec un mécanicien éloigné du théâtre des manœuvres. Mais une organisation attentive des signaux, et un grand soin des détails du mécanisme ont assuré le succès des opérations.

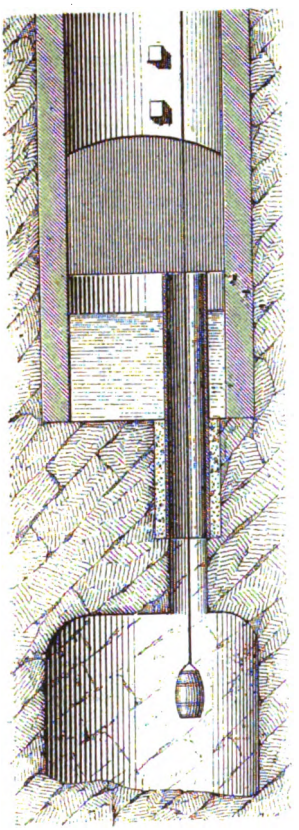


Fig. 268. — Fonçage sous stot. Ouvrage descendant, procédé Lisbet.

354 — Un procédé différent a été suivi à Marles (Pas-de-Calais [1]), et à Saint-Étienne [2]), avec un moteur intérieur à vapeur ou à air comprimé (fig. 267). On commence par détourner les eaux pendant quelques jours, dans un réservoir spécial pratiqué à cet effet. On vide le puisard à l'aide des bennes. On le cloisonne au moyen d'un mur en briques qui le sépare en deux segments, de manière à permettre d'effectuer dans le plus grand la rentrée des eaux. Le compartiment est alors approfondi en forme de goyot. Au delà de l'épaisseur jugée nécessaire pour le stot, il s'épanouit jusqu'à la section normale du puits. En cet endroit débouche la galerie de communication qui, à l'aide d'un bure et d'une galerie supérieure, se relie au puits principal au niveau de l'accrochage du fond. Le moteur est installé dans cette recoupe. Il actionne un treuil et deux chaînes destinées à élever les bennes, d'une part dans le fonçage jusqu'à la galerie inférieure, et d'un autre côté

(1) Delcommune, Note sur un nouveau mode d'approfondissement sous stot (*Bull. min.*, 2e, VII, 819).

(2) Desjoyeaux, *CRM*, 1879, 78.

Digitized by Google

dans le bure, d'une galerie à l'autre. Ces bennes, détachées du câble, sont placées sur de petits trucs, qui circulent à travers les galeries et dans un couloir tournant conduisant à l'accrochage, d'où les matières sont envoyées au jour. Une trappe ferme l'orifice du fonçage, pour éviter les accidents. Elle livre passage à la benne montante, puis on la referme afin que le truc puisse y prendre place, et recevoir la benne que redescend le mécanicien.

355 — Je citerai enfin le procédé Lisbet [1], très bien étudié dans tous ses détails pour ce genre d'opérations (fig. 268). On commence par barrer les eaux et vider le puisard. On approfondit de 4 mètres, le plus rapidement possible, sur un segment du cercle de la section. On installe deux tubes de fonte : l'un de 1 mètre de diamètre, pour le passage de la benne et des hommes qui y prennent place l'un après l'autre; le second, plus petit, destiné au retour d'air. On remplit alors de béton le reste de la section de ce segment, après s'être élargi au-dessous de la corniche jusqu'aux dimensions normales du réavalement. On ramène les eaux dans le puisard, à travers lequel les tuyaux s'élèvent au-dessus du liquide. A partir de ce moment, les ouvriers travaillent sous le stot. Un moteur intérieur effectue la sortie des matières, avec une benne non équilibrée. Au niveau de l'accrochage, un petit chariot vient ensuite d'une galerie latérale se placer sur l'orifice du tube. On déclenche le fond de la benne qui s'ouvre en deux parties, et les matières tombent dans le wagonnet qui, par une bowette tournante, va rejoindre l'accrochage

(1) Lisbet, Foncement sous stot (*Bull. min.*, 2e, I, 1).

Digitized by Google

CHAPITRE XIV

FONÇAGE DES PUITS A NIVEAU PLEIN

—

§ 1

PROCÉDE DE LA TROUSSE COUPANTE

356 — *Principe du fonçage à niveau plein.* — On risque, avec les méthodes qui font l'objet du chapitre précédent, d'avoir à dominer de telles venues d'eau que tous les efforts y échouent, et que l'on se voie obligé d'abandonner le fonçage. On a par suite imaginé des procédés extrêmement remarquables, qui permettent d'effectuer le percement sans avoir besoin de sortir toute l'eau.

Lors même que l'on ne se trouverait pas en face de l'impossibilité absolue de passer *à niveau bas*, le principe du fonçage *à niveau plein* peut s'appliquer avec beaucoup d'utilité au point de vue de la dépense, puisqu'il supprime l'épuisement dont les frais sont en raison du temps, du débit et de la hauteur, et qu'il affranchit des complications matérielles relatives à cette opération.

Il présente encore un autre avantage, en empêchant l'affouillement du massif environnant par les torrents souterrains, qui alimentent la venue d'eau dans le puits en y entraînant toutes les parties meubles. Les excavations ainsi formées, dont les unes restent inconnues et inaccessibles, et les autres, plus voisines, sont fort imparfaitement comblées à l'aide de fascines, provoquent plus tard des mouvements du terrain qui sont de nature à compromettre la solidité du cuvelage et à en amener la ruine, comme j'en citerai plus tard des exemples.

Digitized by Google

Le revêtement lui-même, exécuté avec de nouveaux procédés, à loisir, et en dehors des conditions critiques que nous avons décrites ci-dessus (N° 341), peut acquérir une plus grande perfection.

Nous rattacherons à ce principe cinq méthodes distinctes : le système de la trousse coupante, et les procédés Triger, Guibal, Chaudron, Poetsch.

357 — *Procédé de la trousse coupante.* — C'est à dessein que je place en premier lieu cette méthode [1], comme un trait d'union avec les précédentes, car elle s'applique aussi, le plus souvent même, à niveau bas. Mais on s'en est également servi à niveau plein, sous le nom de procédé Wolski, en travaillant uniquement du dehors avec des outils analogues à ceux du sondage.

On emploie la trousse coupante pour traverser les terrains que rend impraticables leur manque de consistance. Le cuvelage se construit alors au-dessus du sol par anneaux successifs, comme nous l'avons vu pour le tubage des trous de sonde (N° 88), au fur et à mesure que l'on détermine son enfoncement dans le sein de la terre. Pour aider cette descente, on munit la couronne inférieure d'un *sabot tranchant* (fig. 269), qui coupe le terrain, en le refoulant d'après le sens de son biseau vers l'intérieur, d'où on l'extrait directement ou avec des dragues. L'enfoncement est d'ailleurs provoqué par le poids de la trousse et par celui du cuvelage qu'on y élève en bois, en maçonnerie, ou en tôle avec des cornières intérieures destinées à donner du raide à cette dernière. Au besoin l'on y ajoute, au moyen d'une *chaise*, la pesanteur des pompes, et même des poids supplémentaires.

Lorsque le système s'applique à partir de la surface, on commence par pratiquer un puits de quelques mètres, muraillé et

(1) Alayrac, Notice sur le creusement de la fosse n° 5 de Courrières, *Bull. min.*, 2e, VI, 541. — Von Dobenek, Fonçage à travers le sable boulant de Hansa, *Rev. univ. d. m.*, VIII, 356. — Haucart, Creusement à travers les sables boulants de Bois-des-Vallées, *Annales des travaux publics de Belgique*, VIII, 249. — Creusement d'un puits à travers les terrains aquifères de Rheinpreussen, *Ibidem*, XXI, 291. — Peltzer et Grenier, Creusement d'un puits à travers les terrains aquifères de Ruhrort, *Ibidem*, XXII, 249. — *Preuss. Zeitschrift*, VII, B, 194.

Digitized by Google

garni de longrines de bois parfaitement dressées pour assurer la verticalité. Si au contraire un premier approfondissement a pu avoir lieu avec les moyens ordinaires, lorsqu'il devient nécessaire d'appliquer le nouveau procédé, l'on dispose sous le cuvelage déjà posé une vingtaine de vis, que l'on tourne de manière à déterminer, à l'aide de ce point fixe, l'enfoncement de la trousse. Quand on a gagné un peu de terrain, l'on desserre les vis une à une, en établissant, en regard de chacune d'elles, une pièce de cadre ou un segment de maçonnerie.

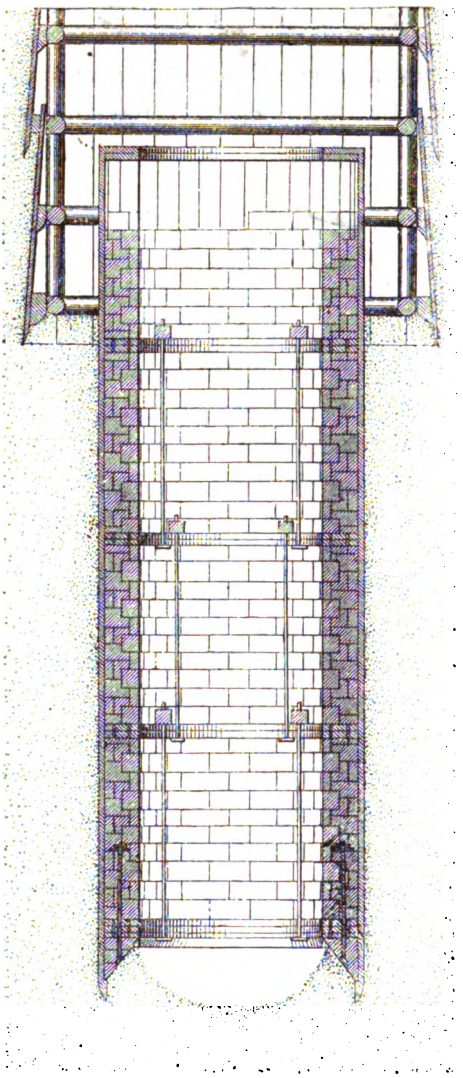


Fig. 269. — Trousse coupante.

La préoccupation capitale doit être de conserver la verticalité. Elle est incessamment contrôlée à l'aide de fils à plomb. Lorsque la trousse semble se déverser d'un certain côté, l'on soutient sur des tiges, reliées à la surface, la partie qui tend à prendre cette accélération, et l'on agit du côté opposé, en affouillant par dessous et pressant sur le sommet, de manière à redresser le cuvelage. Si malgré tous les efforts le puits se dévie définitivement, on arrête

Digitized by Google

le mouvement de la tour, et l'on recommence une nouvelle opération à son intérieur, à partir de ce point, en y glissant une trousse distincte d'un diamètre moindre, surmontée d'un cuvelage que l'on enfile à travers le premier. A Ghlin (nord du Borinage), on a ainsi enfoncé trois tubes concentriques. On commence, pour opérer ce changement, par combler avec du béton le fond du puits sur une certaine hauteur, et l'on y fore un cylindre exactement vertical, destiné à guider avec une grande précision la nouvelle trousse. Il est inutile de faire remarquer combien sont regrettables ces réductions de diamètre.

358 — Le procédé de la trousse coupante a été employé dans des conditions absolument exceptionnelles lors du percement du tunnel sous la Tamise (N° 333). Brunel a coulé à ses deux extrémités, dans le lit du fleuve, des tours en maçonnerie, sur une hauteur de $12^m,80$ un diamètre de $15^m,25$ et une épaisseur de $0^m,90$. Les puits de mine diffèrent complètement de ce type; ils présentent un diamètre beaucoup moindre, et une profondeur plus grande.

L'avancement est parfois d'une lenteur désespérante. A Ruhrort, on a mis 18 ans à s'enfoncer de 130 mètres. Inversement on rencontre des facilités inattendues, mais qui créent souvent un inconvénient d'un autre genre, en déterminant un affaissement très rapide, capable de tout disloquer. A Rheinpreussen, la trousse est descendue presque subitement de $11^m,30$.

Lorsque l'opération est terminée, et le cuvelage assis sur sa base, il est ordinairement trop fatigué pour offrir des chances suffisantes de durée. On ne le considère alors que comme une défense provisoire, et l'on élève avec soin, dans son intérieur, une tour définitive en maçonnerie.

Bien des fois, on a été obligé de s'arrêter à bout de ressources, comme cela est arrivé, par exemple, à Rheinpreussen, après huit ans d'efforts et une dépense de 2625 000 francs. On a repris alors la suite de l'opération à l'aide du procédé Triger.

Digitized by Google

§ 2

PROCÉDÉ TRIGER

359 — *Appareil.* — La méthode remarquable que l'on doit à Triger [1] se rattache directement à la précédente. On conserve l'appareil de la trousse coupante, et on lui adjoint l'emploi de l'air comprimé. On arrive ainsi à tenir les eaux basses, en leur opposant une tension égale à la pression hydrostatique qui correspond à leur niveau extérieur. Les hommes travaillent alors au pied de la trousse comme dans les avaleresses, mais sans que l'on ait besoin, en principe, d'extraire aucune quantité d'eau.

Un cuvelage métallique [2] muni d'un sabot tranchant, s'accroît

[1] *Annales*, 6e, X, 402. — Althaus, Projet d'application de l'air comprimé à des fonçages de quelque profondeur, *Rev. univ. d. m.*, 1re, XV, 328. — Creusement par l'air comprimé à Rheinpreussen, *Ibidem*, 1re, XXIX, 164. — Trasenster, Emploi de l'air comprimé pour le fonçage des puits dans les terrains aquifères (*Annales des travaux publics de Belgique*, VI, 5). — Bouhy, Creusement à travers les sables mouvants de Strépy Bracquegnies (*Ibidem*, VII, 35). — Bougnet, Creusement des puits au moyen de l'air comprimé (*Ibidem*, XVI, 307). — Simonis, Creusement à travers les sables boulants de la Louvière par l'air comprimé (*Ibidem*, XVIII, 5). — Hermel, *Accidents produits par l'usage des chambres à air comprimé dans les travaux souterrains*, in-8°, 1853. — Gérard, Note sur les accidents dans les travaux à l'air comprimé, *Génie civil*, VI, 262. — *Thèses* relatives aux effets de la pression et de la compression sur le scaphandrier : thèse du Dr Gaudin, Paris, 1887; du Dr Couty, Paris, 1875; du Dr Gul, Montpellier, 1872. — Dr Layet, Hygiène des plongeurs et des ouvriers travaillant dans l'air comprimé, *Génie civil*, X, 135. — Biver, Rapport sur les émulseurs destinés à élever les liquides corrosifs par mélange d'air et de liquide, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XII, 547. — Fonçage des puits dans les terrains aquifères par l'action directe de la vapeur d'eau, *Génie civil*, XVII, 175. — Triger, *Mémoires présentés à l'Académie par divers savants*, t. XIII, 1841.

[2] Les premiers puits de Chalounes avaient 2 mètres de diamètre. On est arrivé depuis lors à de larges sections. Les premières applications de ce procédé ont été :

1839. — Chalounes (Maine-et-Loire), *Annales*, 6e, X. — *Musée de l'industrie de Belgique*. 1841, 159.
1845. — Douchy (Nord), *Annales des travaux publics de Belgique*, VI.
1847. — Strépy Bracquegnies (Belgique), *Ibidem*, VII.
1848. — Seraing (Belgique), *Ibidem*, XVI.
1857. — La Louvière (Belgique), *Ibidem*, XVIII.
1857. — Rheinpreussen (Prusse rhénane), *Zeitschrift BHS*, VIII, 43; XVII, 18, 385.
1857. — Mine Maria (Westphalie), *Ibidem*, IV, 255; VIII, 157.
1873. — Zabrza (Silésie), *Ibidem*, XXI, 276.
1877. — Mine Maria, *Ibidem*, XXVI, 213. — *Wagner's Beschreibung Bergreviere*, 1881, 87.
1886. — Mine Maria, *Zeitschrift BHS*. XXXV, 1.

Digitized by Google

progressivement par la partie supérieure au moyen de l'adjonction de viroles successives (fig. 270). Des cloisons placées dans ce cuvelage y ménagent deux compartiments fermés. Le premier, appelé la *chambre de travail*, aboutit au fond du puits, et se trouve constamment soumis à la tension du compresseur, dont il reçoit l'air par un tube débouchant au plafond. Le second compartiment porte le nom de *sas à air*. Il est mis en équilibre de pression, tantôt avec la chambre de travail, tantôt avec l'extérieur. On lui fournit l'air comprimé au moyen d'une tubulure traversant son plancher. Ce sas constitue une partie essentielle de l'appareil. Sans la présence de cette écluse, il serait impossible d'établir une communication entre l'extérieur et la chambre de travail. Celle-ci se viderait en un instant, les eaux y monteraient et noieraient les hommes. Deux trappes, qui ne seront jamais ouvertes à la fois, servent à ménager ces relations alternatives. Elles peuvent être à coulisse; mais si on les fait à charnière, elles doivent s'ouvrir de

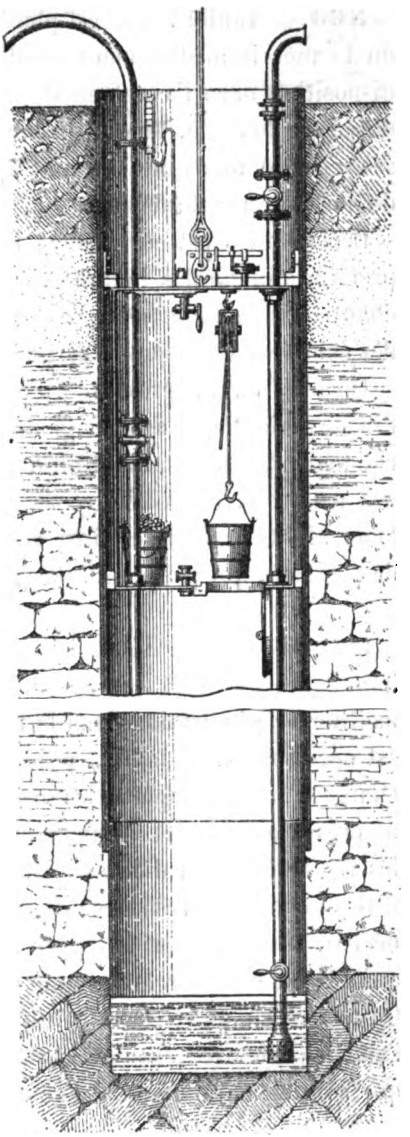


Fig. 270. — Fonçage Triger (figure schématique).

Digitized by Google

dehors en dedans, puisque c'est de côté que se trouve la pression.

360 — Tantôt le sas est placé au sommet de la colonne, tantôt on le met immédiatement au-dessus du chantier. Cette dernière disposition offre l'avantage de rester immuable pendant toute la durée du fonçage, tandis qu'avec la première il faut démonter le sas chaque fois que l'on veut ajouter une virole, et l'assembler de nouveau à cette dernière.

Cependant c'est en général l'emplacement supérieur que l'on préfère, afin que les hommes, une fois éclusés, puissent quitter le chantier immédiatement, sans avoir encore à effectuer la montée des échelles, après que le corps a subi cette épreuve physiologique.

On s'est d'ailleurs efforcé d'affranchir cette situation du sas de l'inconvénient qui a été signalé tout à l'heure, en le fixant invariablement, et assemblant au-dessous de lui, en forme de viroles, des panneaux capables de passer par les trous d'homme. On enfonce alors le cuvelage, ainsi accru d'une couronne, à l'aide de vis de pression, qui prennent leur point d'appui sous le sas.

361 — Lorsque vient le moment d'enfoncer la trousse, les hommes travaillent sur le périmètre du sabot tranchant pour faciliter sa pénétration dans le terrain. Mais comme la profondeur est nécessairement faible, puisque chaque décamètre d'eau surcharge d'une atmosphère les organes de la respiration, le cuvelage ne présente pas ordinairement un poids suffisant. On y supplée avec les vis dont il vient d'être parlé, ou avec des presses hydrauliques. Il reste encore la ressource de faire sortir les hommes au moment décisif, et de laisser échapper l'air, pour supprimer la pression qui tend à soulever le système et à s'opposer à son enfoncement. On trouve en outre à cet artifice l'avantage que cette rentrée de l'eau apporte avec elle une certaine quantité de matières meubles, qui contribuent d'autant à l'affouillement.

362 — On a réussi à reculer quelque peu, au moyen d'un procédé ingénieux, l'étroite limite de profondeur qui est imposée à ce procédé par les conditions de l'organisme vital.

Digitized by Google

Il consiste à laisser suinter l'eau d'une manière permanente dans la chambre de travail, en mollissant la pression. En même temps, pour ne pas être noyé dans le chantier, on y dispose un petit puisard où se rassemble cette eau, et dans lequel plonge un tuyau spécial, qui débouche dans l'atmosphère en se courbant en col de cygne au sommet du cuvelage. Bien que la pression à la base de ce tube soit maintenue, ainsi que je viens de le dire, au-dessous de celle qui correspondrait à sa hauteur manométrique, le liquide s'y élève cependant d'une manière continue. En effet, dans cet état dynamique substitué aux conditions statiques, et régi dès lors, non plus par les lois de l'hydrostatique, mais par le théorème de Bernoulli (N° 120, équation 1), la pression doit diminuer sur le parcours, et d'autant plus que la vitesse sera plus accusée.

On remarquera d'ailleurs que, si l'on voulait continuer à raisonner par approximation d'après les principes de l'hydrostatique, en considérant le tuyau ascensionnel comme un tube manométrique, il faudrait tenir compte de cette circonstance essentielle qu'il se trouve rempli, non pas d'eau proprement dite, mais d'une sorte d'émulsion, produite par le mélange de ce liquide avec l'air qui filtre sous l'effort de la pression intérieure. De là, pour le mélange, une densité moyenne moindre que l'unité, qui exigera une hauteur supérieure à 10 mètres, pour équilibrer une tension d'un kilogramme par centimètre carré.

Outre l'avantage décisif de l'abaissement de la pression, l'on trouve encore à ce procédé l'utilité de faire, comme dans le sondage au diamant (N° 99), charrier par le courant une certaine quantité de limon ou de sable fin, dont on se trouve ainsi débarrassé sans manœuvres spéciales. Il est bien vrai que c'est au prix d'une certaine dépense d'air, que l'on ne saurait considérer comme d'un emploi économique. Mais il faut tenir compte de cette circonstance, que la sortie de ces matières d'après la méthode ordinaire nécessiterait elle-même une dépense analogue, en raison de l'ouverture du sas. Enfin l'on évite, en laissant suinter doucement l'eau du terrain, la déperdition d'air qui se produirait en sens inverse, si l'on tenait la pression surélevée pour prévenir toute rentrée ; l'équilibre ne pouvant être constamment observé avec une rigueur absolue.

Digitized by Google

363 — *Effets physiologiques.* — Malgré l'emploi de cet artifice, on n'en reste pas moins limité à un chiffre de profondeur déterminé par les nécessités physiologiques. A la vérité, il ne faut pas perdre de vue que cette hauteur ne se comptera qu'à partir du niveau des eaux, et non pas de la surface du sol. Or il peut se faire qu'on ne les rencontre qu'à une profondeur notable, préalablement atteinte par les moyens ordinaires. C'est donc, à proprement parler, la hauteur de la passée aquifère, et non la profondeur même du fonçage, qui se trouve ainsi restreinte.

On a, dans des cas extrêmes, réalisé des pressions qui ont amené plusieurs fois des accidents mortels. Mais il ne s'en est jamais produit au-dessous de deux atmosphères effectives ([1]). C'est, par suite, le point auquel il conviendra de s'arrêter.

Toutes les parties de l'appareil sont préalablement éprouvées à une pression double du maximum présumé. Il y a lieu en effet de redouter des chocs de pression, qui peuvent être occasionnés par un enfoncement brusque du cuvelage. On a eu ainsi, à Douchy et à Rheinpreussen, des exemples d'explosions. Il faut en outre avoir soin d'établir deux soupapes de sûreté, réglées pour la tension limite. On surveille également la pression au moyen de manomètres, dont l'un se trouve à la disposition des ouvriers, un autre placé sur le compresseur, et un troisième organisé comme sifflet d'alarme.

364 — La compression de l'air dans les poumons n'est pourtant pas, par elle-même, nécessairement nuisible dès le début; car quelques médecins ont même été jusqu'à proposer son application au traitement de certaines affections bronchiques. Mais cet état de choses n'en est pas moins anormal, et devient rapidement fâcheux quand la pression augmente. On rencontre des organisations particulièrement délicates qui ne peuvent, à aucun degré, supporter le travail dans l'air comprimé.

C'est en général dans les oreilles que se manifestent un malaise et, parfois, une souffrance très aiguë. Cette sensation s'accompagne

([1]) Les fondations pneumatiques du pont établi sur le Lümfjord (Danemark) par la Compagnie de Fives-Lille en 1889, ont été poussées à une profondeur de 36 mètres.

Digitized by Google

également d'une surdité temporaire [1]. Le timbre de la voix est changé, il perd ses notes élevées et devient nasillard. Il est impossible de siffler. Le pouls ne semble pas modifié.

Un point qu'il sera très essentiel de fixer avec une grande attention pour chaque chantier, est la durée employée à écluser et à décomprimer le personnel. Trop courte, elle entraînerait des lésions dans les organes respiratoires, et l'arrêt de la circulation par le dégagement de l'acide carbonique qui est resté dissous dans le sang à la faveur de la pression. Trop prolongée, elle expose à des fluxions de poitrine des hommes en transpiration, subissant dans l'immobilité le refroidissement intense qui accompagne la détente de l'air. Paul Bert recommande une durée de douze minutes par atmosphère pour la décompression. On s'attache à combattre les refroidissements en obligeant les hommes à passer des vêtements chauds dans le sas, et en les recevant pendant quelques instants à leur sortie dans une salle chauffée.

A la longue, ce régime risque de déterminer des douleurs articulaires. On éloigne cette éventualité à l'aide de frictions alcooliques, et surtout d'une excellente hygiène, en évitant tous les excès.

365 — Indépendamment des influences exercées sur l'organisme, il faut mentionner les modifications subies par la combustion. Elle est notablement activée par la condensation de l'oxygène; les lampes, les bougies brûlent plus vite, et répandent des produits asphyxiants plus abondants. On a soin pour cette raison d'éclairer la chambre de travail comme les entreponts des navires, avec des lentilles de verre qui laissent tamiser la lumière de réflecteurs. Mais la lumière électrique remplit bien mieux encore cet office.

Les mèches soufrées doivent être absolument proscrites, car elles dégageraient une grande abondance d'acide sulfureux. Il en est de même pour l'amadou, qui devient d'une combustibilité excessive, et risquerait de communiquer le feu aux vêtements. On n'emploie

[1] Cette surdité relative est appréciable, même pour la simple descente dans un puits de mine de quelque hauteur, en raison du changement de pression qu'elle détermine, surtout quand la cage descend trop vite. On y remédie alors en effectuant périodiquement le mouvement de déglutition de la salive.

Digitized by Google

que l'étoupille de sûreté pour tirer des coups de mine, lorsqu'il y a lieu de faire sauter des blocs qui font obstacle à l'enfoncement.

366 — Quant aux résultats économiques du procédé Triger, ils sont éminemment variables d'un cas à l'autre. Le tableau ci-contre en présente trois exemples. Dans les deux premiers, l'air comprimé n'a été introduit que pour remédier à l'arrêt du procédé ordinaire de la trousse coupante, et le chiffre de la dépense se rapporte à l'ensemble de l'opération [1].

367 — *Percement des tunnels à l'air comprimé.*— Indépendamment du fonçage des puits, on peut citer, comme application de l'air comprimé aux travaux souterrains, le percement des tunnels [2]. Un sas

DÉSIGNATION		DÉPENSE		DIAMÈTRE		PROFONDEUR	DURÉE	AVANCEMENT		NATURE DU TERRAIN
PUITS	RÉGION	TOTALE	PAR MÈTRE COURANT	FORÉ	UTILE		TOTALE	Mètres par mois	Jours par mètre	
		Francs	Francs	Mètres	Mètres	Mètres	Mois			
Havré	Belgique	2 800 000	73 084	4,00	»	38,0	48	1,91	15,1	Sables coulants, craie aquifère.
Rheinpreussen	Prusse rhénane	2 025 000	33 439	4,71	»	78,5	102	»	»	Sables du Rhin.
La Louvière	Belgique	100 896	8 158	4,50	3,94	13,5	2	7,00	4,30	Sables mouvants.

(1) On pourra rapprocher ce tableau de celui que nous avons donné ci-dessus (N° 345) pour la méthode directe des avaleresses, et qui est puisé aux mêmes sources.

(2) Habets, Procédé Taskin pour le percement des tunnels à l'aide de l'air comprimé, *Exposition de* 1878, groupe VI, classe 50, 38. — Tunnel d'Hudson River, *Génie civil*, XVII, 335. — Tunnel de l'Hudson, *Annales industrielles*, 1885, II, 775. — Burr, Le tunnel de l'Hudson et son système de compression, in-4°, New-York.

Digitized by Google

se trouve placé à l'entrée. L'air comprimé, en tension suffisante, tient les eaux en respect pendant le percement. Le front de taille est recouvert d'un bouclier métallique, muni sur son pourtour d'un couteau d'acier. Cette cloison est en général percée d'une porte centrale par laquelle les ouvriers vont piocher le terrain pour faciliter l'avancement. Plus rarement elle est pleine, et traversée seulement par des tuyaux qui projettent de l'eau contre les matières meubles du front de taille, tandis qu'une conduite inférieure permet l'évacuation du liquide et des terres entraînées. Le revêtement du tunnel est formé d'anneaux en fonte de 50 centimètres de haut. Le bouclier est poussé en avant à l'aide de presses hydrauliques qui prennent leur point d'appui sur le dernier anneau posé. Il se prolonge en outre à l'arrière par un cylindre d'acier enveloppant celui-ci, et assurant constamment sa jonction avec le revêtement. Dès que le bouclier a avancé de 50 centimètres, on déplace successivement chacune des presses hydrauliques, en leur substituant les panneaux d'une nouvelle travée de blindage, puis on recommence l'enfoncement. Dans le percement de tunnels de $3^{m},20$ de diamètre sous la Tamise pour le City and South London Railway, M. Greathead a ainsi obtenu des avancements de plus de 3 mètres en 24 heures (1).

— Tunnel sous-marin de New-York à Jersey City, *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 20 juin 1880, 188. — Tunnel de New-Jersey, *Génie civil*, IV, 20. — Tunnel de Braye (Aisne). Accident de 17 victimes, *Annales industrielles*, 1886, II, 277. — Tunnels sous la Tamise du City and South London Railway, *Génie Civil*, XVII, 227. — Tunnel de Blackwall sous la Tamise, *Génie Civil*, XXV, 125; XXVII, 6; *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, X, 1072. — Siphon de Clichy-Asnières, système Berlier, par l'air comprimé. *La Nature*, 1er décembre 1894, 7. — Les tunnels tubulaires à l'étranger, *Revue scientifique*, 23 décembre 1894, 782.

(1) Indépendamment de ce qui concerne les puits et les tunnels, on sait quels services a rendus l'emploi de l'air comprimé, pour l'exécution des fondations des grands travaux publics. Mais ce sujet sortirait de notre cadre.

Il n'en est pas de même d'un dernier mode d'application : le *scaphandre*, dont l'emploi se rattache directement aux travaux de mines, car il a été souvent utilisé pour les réparations de puits sous l'eau. Je me bornerai en ce moment à cette mention. Nous aurons occasion d'y revenir dans le chapitre XLVIII.

Digitized by Google

§ 3

PROCÉDÉ GUIBAL

368 — Le procédé Guibal [1] se rattache naturellement aux précédents, car il fait intervenir comme eux une trousse coupante (fig. 271, 272); seulement l'ouvrier ne se trouve plus jamais, de sa personne, en contact avec le terrain. Il n'agit pour l'affouiller qu'à partir de la surface, et à l'aide des procédés du sondage. On introduit par un tube central des outils élargisseurs qui s'épanouissent au-dessous d'un bouclier, de manière à y corroder le terrain d'après leur mouvement de rotation. Des cloches à soupapes pénètrent également à travers ce tube, pour extraire les matières. Cependant ce moyen ne figure qu'à titre de secours, car on agit aussi par refoulement de la masse.

Le principe peut être défini d'un seul mot, en disant que c'est le procédé employé pour les tunnels (N° 333), appliqué ici dans le sens vertical.

Le sabot tranchant dont il vient d'être parlé, est muni d'un fourreau métallique qui fait corps avec un bouclier annulaire. Au milieu de ce dernier s'élève le tube central, jusqu'au-dessus du niveau que les eaux prennent librement à son intérieur. Ce tube s'accroît par la partie supérieure, à l'aide de viroles successives, que l'on y assemble au fur et à mesure de l'enfoncement. Le fourreau extérieur s'appuie, d'autre part, sur l'extrados de la partie déjà exécutée du cuvelage. Il en est séparé par un joint en caoutchouc. On obtient ainsi un isolement hermétique de la capacité annulaire comprise entre le cuvelage et le tube central. Elle forme dès lors un chantier qui a pour plancher de travail le bouclier. L'emploi du caoutchouc est admissible pour cette circonstance, puisqu'il ne s'échauffe pas, et qu'il n'est soumis qu'à un glissement très limité, égal en longueur à la traversée des terrains aquifères.

[1] Ponson, *Rev. univ. d. m.*, 1re, V, 37.

Digitized by Google

369 — La chambre de travail renferme seize presses hydrauliques, arc-boutées d'une part contre le bouclier octogonal, et de l'autre sous le cuvelage. Quand le terrain est convenablement affouillé au-dessous et que l'on veut déterminer l'enfoncement, les hommes remontent au jour, et l'on admet l'eau dans l'espace annulaire afin d'équilibrer la pression hydrostatique extérieure, de manière que le bouclier, cessant de la supporter par-dessous, n'ait plus à lutter que contre la résistance propre du terrain. On actionne les presses à partir de la surface, à l'aide de tuyaux de renvoi. On continue, pendant ce temps, les dragages à travers le tube.

Lorsque l'enfoncement est jugé suffisant, on épuise l'eau de l'espace annulaire. Les ouvriers y redescendent, et posent un nouveau cadre pièce par pièce, en remplaçant successivement chaque presse par un voussoir, sous lequel ils l'arc-boutent de nouveau (1).

(1) Ce procédé n'est cité ici que pour mémoire, car il n'a été appliqué qu'une fois (au puits Bonne-Espérance, Péronne, Centre belge), et pour aboutir à un insuccès. Mais ce résultat ne saurait suffire pour faire condamner en principe cette ingénieuse méthode, et il convient de suspendre le juge-

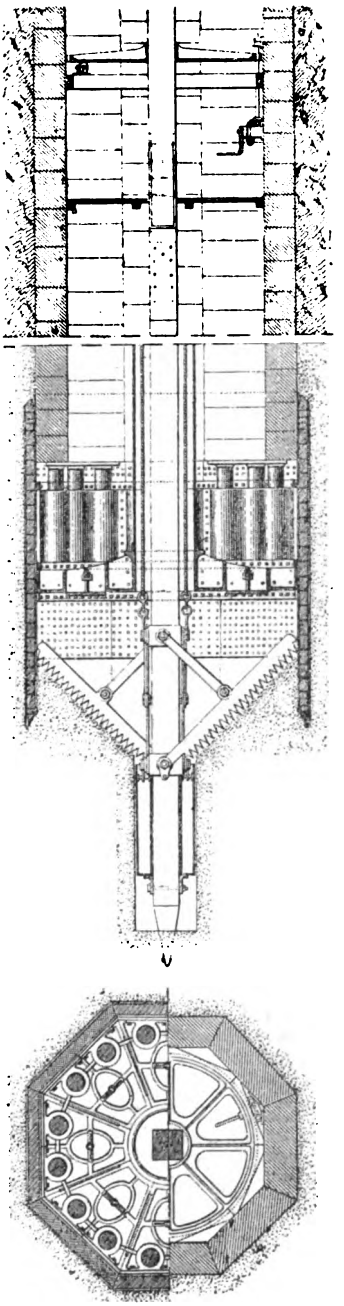


Fig. 271 et 272. — Fonçage Guibal (coupes verticale et horizontale).

Digitized by Google

On remarquera que nous trouvons pour la première fois ici, dans toute sa rigueur, la réalisation du niveau plein, au moins pour la région centrale. Nous arrivons maintenant à un procédé avec lequel le niveau reste libre dans toute l'étendue de la section pendant le forage.

§ 4

PROCÉDÉ CHAUDRON

370 — *Tube d'équilibre.* — Combes avait, dès 1844, mis en avant l'idée de foncer les puits par le sondage(1). En 1847, Kind à Styring (Moselle), et Mulot à Hénin-Liétard (Pas-de-Calais), commencèrent à la mettre en pratique(2). Leurs forages réussirent, mais l'opération n'en constitua pas moins un échec, car il fut impossible d'établir un cuvelage étanche, et par conséquent d'épuiser la capacité du puits. C'est en 1853 que M. Chaudron, ingénieur du Corps des mines belge, fournit à cette méthode son complément décisif, par un procédé aussi élégant que pratique pour l'établissement du cuvelage. Ce système est connu sous le nom de méthode Kind-Chaudron (3). J'exposerai la suite des idées qui la constituent, sous la première forme qui a présidé à cette création.

On y doit distinguer deux parties essentielles : 1° le sondage, que nous avons déjà décrit (chap. IV) avec des développements sur lesquels nous n'avons plus à revenir, 2° l'établissement du cuve-

ment. La traversée du mauvais terrain s'est en effet bien effectuée, et l'échec a été dû seulement à la rencontre d'un banc dur très incliné, qui eût nécessité, pour l'assiette du cuvelage, des dépenses supplémentaires devant lesquelles la Compagnie a reculé.

(1) Combes, *Traité d'exploitation des mines*, I, 286.

(2) *Bull. min.*, 1re, VII.

(3) *Annales*, 5e, XVIII, 435 ; 6e, XI, 1 et 47 ; XVI, 371. — *Bull. min.*, 2e, VI, 479, Lévy ; XI, 767, Chavatte. — *Rev. univ. d. m. et u.*, 1re, XX, 116 ; XXXIII, 53. — *Annales des travaux publics de Belgique*, XII, 327, Notice sur le procédé Kind, par Chaudron ; XVIII, 169 ; XXV, 45 ; XXVI, 135 ; XXVII, 135 ; XXX, 77. — *Le système Kind-Chaudron*, Bruxelles, 1878, par J. Chaudron. — *Notice* sur le système Chaudron, Liège, 1873, par Allwin. — *La houille*, Warington Smith, note M par Maurice. — Chaudron, *Le système Kind et Chaudron*, 1889. — Le système Kind et Chaudron, *L'industrie moderne*, 1889. — Monet, Notice sur le creusement du puits n° 6 des mines de l'Escarpelle (*Publication de la Société des ingénieurs sortis de l'École du Hainaut*, XVIII. — *Bull. min.*, 2e, XV, 465). — Suppression du tube d'équilibre, *Écho des mines et de la métallurgie*, 1886, 5.

Digitized by Google

lage, qu'on entreprend une fois le forage terminé, et qu'il nous reste seulement à envisager ici (fig. 273, 274).

Le cuvelage s'accroît à son sommet par l'adjonction de viroles successives. Il est soutenu par six tringles de suspension, filetées en vis à leur partie supérieure, et passant dans des écrous supportés par une charpente. En tournant ces derniers, on fait descendre les

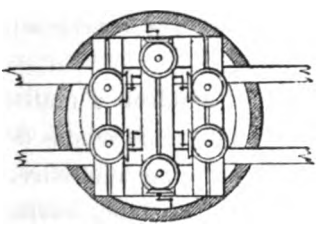


Fig. 273. — Fonçage Chaudron (coupe horizontale).

tringles d'une longueur égale à la hauteur d'une virole. Seulement il est bien clair que, sans l'emploi de moyens détournés, il n'y aurait ni tringles ni charpentes qui fussent capables de supporter des cuvelages métalliques tels que ceux dont on verra plus loin les dimensions (N° 380). C'est ici que M. Chaudron introduisit l'une de ses créations essentielles : le *tube d'équilibre*.

371 — Supposons que le cuvelage soit complètement fermé par

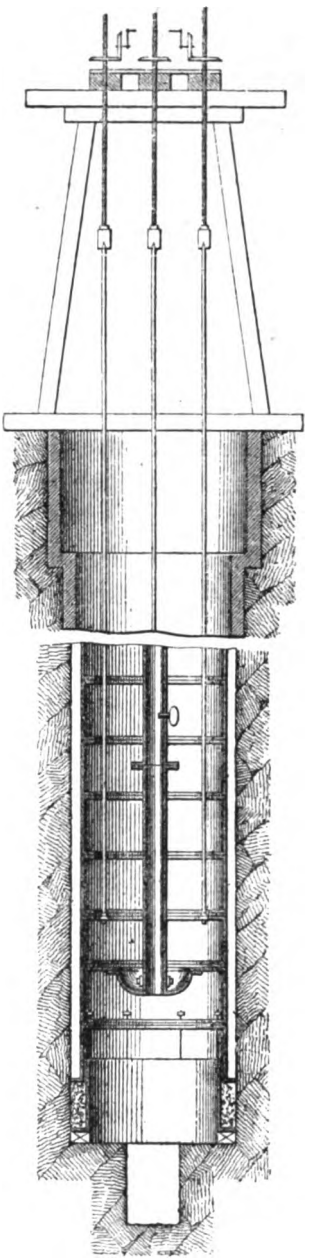


Fig. 274. — Fonçage Chaudron (coupe verticale).

Digitized by Google

une cuvette à la partie inférieure. Ce sera alors, sauf la forme, un *navire*, qui finira par flotter librement sur l'eau, quand il s'y sera enfoncé de la quantité que l'on appelle le *déplacement*, et qui se mesure par un nombre de mètres cubes égal au nombre de tonnes de son poids. Arrivé à ce point, le cuvelage refusera d'enfoncer davantage, et n'exercera plus aucune tension sur les tringles.

Pour le faire filer plus bas, il faudra le charger de *lest*. Celui-ci consistera simplement en une certaine quantité d'eau, que l'on versera peu à peu dans l'intérieur de manière à déterminer cet enfoncement progressif. Disons de suite qu'au lieu de laisser flotter un corps d'une forme aussi instable, en risquant de le voir se déverser sur le côté, l'on a soin d'ajouter au lest une certaine quantité constante, d'une vingtaine ou une trentaine de tonnes, qui restera supportée par les tiges, de manière à assurer la verticalité du système.

Telle est la conception théorique que M. Chaudron a réalisée au moyen de son tube d'équilibre. La cuvette dont nous venons de parler existe en effet, mais réduite à une couronne annulaire. Elle est évidée en son centre, sur lequel s'élève un tube, analogue à celui de l'appareil Guibal (N° 368). Ce tuyau s'allonge par le haut, par l'addition de viroles successives, comme le cuvelage lui-même. Le liquide y prend son niveau naturel. Il suffit donc, pour l'admettre en quantité voulue dans l'espace annulaire en vue d'accroître progressivement le lest, de concevoir des robinets ménagés à travers les viroles successives de ce tube. Il sera, bien entendu, nécessaire de refermer chacun d'eux, au moment où il va être submergé par l'eau qui monte dans la couronne. On préfère d'ailleurs, dans la crainte que quelqu'un d'entre eux ne vienne à se rouvrir accidentellement, ce qui déterminerait dans le navire une pure et simple voie d'eau qui le ferait couler à pic, remplacer les robinets par des vis d'obturation. Un siphon peut également servir, le cas échéant, à déverser le liquide de l'intérieur à l'extérieur du tube d'équilibre, sans y pratiquer aucune ouverture.

372 — Lorsque les écrous ont été tournés de manière à déterminer un enfoncement du cuvelage égal à la hauteur d'une virole,

Digitized by Google

il devient nécessaire d'ajouter une couronne de plus à son sommet. Mais les tiges de suspension s'y opposent. On commence donc par soutenir le cuvelage sur une clef de retenue. On démonte les tringles, on amène la virole, que l'on assemble à la dernière, et l'on y rattache les tiges qui ont été remontées dans leurs écrous. Il ne reste plus alors qu'à enlever légèrement tout l'ensemble, pour dégager la clef, que l'on retire; après quoi l'on reprend la descente.

Le système arrive ainsi au fond. Mais rien n'assure encore, dans ce qui précède, l'étanchéité du joint avec la roche. C'est ici que se place la seconde conception essentielle de M. Chaudron, celle de la *boîte à mousse.*

373 — *Boîte à mousse.* — On a commencé, avant la descente, par disposer à la base du cuvelage une virole spéciale désignée communément par le *numéro zéro*, et faisant partie du système qui porte le tube d'équilibre. A un niveau inférieur à celui de la cuvette se trouve une cornière annulaire, au travers de laquelle sont passés des boulons suspendus par leurs têtes, mais susceptibles de remonter quand ils y seront sollicités par-dessous. Pour le moment ils soutiennent la boîte à mousse, c'est-à-dire un cylindre d'un diamètre un peu moindre que celui du cuvelage, et capable d'y glisser en remontant, s'il s'y trouve provoqué. Entre son collet inférieur et celui du numéro zéro, on accumule une quantité suffisante de mousse comprimée retenue sur le pourtour par un filet pour empêcher qu'elle ne se disperse pendant la descente.

Lorsque le cuvelage arrive au fond, c'est la boîte à mousse qui porte la première. La colonne, que rien n'arrête encore, continue son mouvement en comprimant la mousse. Ce n'est qu'après que cette dernière aura acquis un degré de tension élastique capable d'équilibrer ce poids gigantesque, que celui-ci s'arrêtera. On comprend d'après cela que la mousse pénètre dans les moindres interstices, de manière à établir une ceinture absolument étanche, semblable à celle des trousses picotées.

374 — On a eu soin, pendant le sondage, de pratiquer avec un trépan un peu plus petit, et sur la hauteur exactement convenable,

Digitized by Google

la place de la boîte à mousse. Il importe, en effet, que celle-ci présente un diamètre un peu moindre que celui des collets, afin que la mousse ne frotte pas contre la roche pendant la descente, ce qui tendrait à l'éparpiller. Mais il est en outre nécessaire, qu'une fois arrivée à destination, elle pénètre très exactement dans son logement, afin de se trouver de suite au contact de la paroi, sans avoir à la rejoindre par un parcours horizontal, qui retarderait d'autant sa mise en tension. On a soin aussi, au moment où la boîte va atteindre le fond, de descendre par le tube d'équilibre un cureur-élargisseur qui, en s'épanouissant au-dessous d'elle, balaye très nettement l'emplacement qui lui est destiné, afin d'éviter des porte-à-faux. On améliore encore les conditions de ce contact, en doublant le fond métallique avec un cadre en bois de chêne.

375 — *Bétonnage.* — L'emploi de la boîte à mousse paraît aujourd'hui pouvoir être écarté. Il perd tous les jours du terrain dans la pratique, l'étanchéité paraissant pouvoir être obtenue par des soins suffisants apportés au bétonnage.

Cette opération reste d'ailleurs nécessaire, même avec l'emploi de la boîte à mousse, car il est indispensable d'unir le cuvelage à la roche, dont il se trouve séparé par le jeu qui est nécessaire pour éviter les frottements.

Le béton doit être composé d'une manière attentive. Si sa prise était trop rapide, la masse se durcirait pendant sa descente, et l'on n'obtiendrait qu'un blocage dont les diverses parties ne présenteraient aucune liaison. Si le phénomène était trop lent, on aurait au fond une masse liquide, incessamment délayée par les instruments et par l'arrivée de nouvelles quantités de béton. La prise serait donc encore impossible, ou très imparfaite. On peut employer le ciment anglais avec une proportion double de chacun des trois éléments suivants : strass d'Andernach, chaux hydraulique et sable.

Le mélange ne saurait être versé du haut en bas, car il se délayerait complètement pendant le trajet. Il est descendu dans des cylindres appelés *cuillers*. Au fond de ces appareils se trouve un piston, par-dessus lequel on tasse du béton, en le serrant assez

Digitized by Google

pour qu'il ne s'échappe pas de lui-même, quand on tient la cuiller renversée : c'est dans cette situation qu'on la descend au fond. Lorsqu'elle y est parvenue, on sonne plusieurs fois, de manière à chasser le contenu au dehors, tant par sa propre masse que par celle du piston.

376 — On laisse écouler un temps suffisant pour assurer complètement la prise de l'ensemble dans toute la hauteur, en continuant à maintenir le cuvelage à l'aide de son système de suspension. On démonte ensuite ce dernier, puis successivement les diverses viroles du tube d'équilibre, en épuisant l'eau qui remplit la fosse et qui se trouve dorénavant isolée des niveaux. On parvient ainsi au fond, et l'on démonte enfin la cuvette, de manière à rendre le puits entièrement libre.

On établit ensuite à loisir, au-dessous du cuvelage, des trousses picotées, avec le même soin et plus de facilités que dans les conditions ordinaires, puisque l'on n'est pas gêné par les eaux. On relie ces trousses au revêtement métallique à l'aide de panneaux assemblés avec un brandissage soigné, en mettant du plomb dans tous les joints.

377 — *Variantes.* — L'application de la méthode a beaucoup varié depuis l'origine. Nous avons déjà mentionné la suppression de la boîte à mousse. On a vu disparaître aussi le tube d'équilibre, qui n'est en effet nullement indispensable pour mettre l'intérieur du cuvelage en rapport avec l'eau. Sans avoir besoin de percer ce dernier pour puiser le liquide à la circonférence et non plus dans un noyau central, il est bien facile d'en introduire par la partie supérieure. On a même supprimé les tiges de suspension, comme nous le verrons plus loin (N° 378).

On a rencontré, au puits n° 4 de Sarre-et-Moselle, une circonstance spéciale qui pourrait se reproduire dans d'autres fonçages, et qui mérite d'être mentionnée ici.

Une faille aquifère, amenant les eaux des morts-terrains jusque dans le terrain houiller, coupait le plan de base du fonçage dans l'intérieur de la section du puits. Dès lors la ceinture latérale

Digitized by Google

étanche devenait insuffisante, puisque l'eau continuait à sourdre du fond. On fut averti d'une telle complication par cette circonstance, que l'épuisement ne faisait pas baisser le niveau des eaux. On ne pouvait d'ailleurs en accuser l'insuffisance de la boîte à mousse ou une rupture de la colonne, car l'examen attentif du liquide n'y décelait ni mousse en suspension, ni chaux en dissolution provenant du béton.

M. J. Lévy fit alors reprendre le sondage sur un diamètre moindre, en le prolongeant jusqu'à un niveau assez bas pour pouvoir espérer que l'inclinaison du plan de la faille aurait rejeté hors du cercle sa trace sur ce nouveau plan horizontal. On redescendit un second cuvelage à l'intérieur de l'ancien sur cette hauteur. La boîte à mousse fonctionna, et le succès couronna l'opération.

378 — Une autre circonstance extrêmement critique s'est présentée à Marles [1].

Un défaut d'étanchéité s'était déclaré dans un joint de la colonne, et y admettait l'eau avec une vitesse toujours croissante; le niveau montait de $0^m,30$ à l'heure. Les tirants de suspension se trouvèrent surchargés, et l'un d'eux se rompit. Il restait encore douze viroles à poser, ce qui, avec le mode ordinaire, représentait le travail de trois jours. En présence d'une catastrophe inévitable, les ingénieurs prirent un parti héroïque. On jugea que l'on pouvait, en supprimant la complication des tirants et se bornant au seul travail d'assemblage, monter la colonne assez vite pour maintenir à peu près constante la distance entre l'eau et le bord supérieur du cuvelage flottant. On détela donc tous les tirants, en abandonnant le système à lui-même. Les douze anneaux furent posés en deux jours, et le succès fut complet.

379 — MM. Somzée, Tillier et Passelecq ont imaginé une dernière modification radicale de la méthode [2].

Dans ce procédé, les anneaux deviennent indépendants, et descendent l'un après l'autre, suspendus à des chaînes, à l'aide de

(1) *CRM*, janvier 1877, 7, Delcommune.
(2) *Rev. univ. d. m.*, 2e. I, 447, Laguesse.

Digitized by Google

crochets qui se retirent d'eux-mêmes au moment où la pièce arrive au fond. Des biseaux de caoutchouc, adaptés sous les collets inférieurs, se compriment sous le poids, en assurant l'étanchéité. Trois œillets sont pratiqués dans des oreilles intérieures. Ils servent à guider avec précision les anneaux, le long d'autant de tiges verticales, pour déterminer leur coïncidence.

Le but de cette manière de procéder est d'obtenir plus de vitesse, et par suite moins d'éboulements dans les parois, la facilité de pouvoir passer des cureurs à tout moment de la descente, et une certaine flexibilité de l'ensemble. Le contrôle de l'expérience pourra seul montrer ce qu'il y a de fondé dans ces espérances.

380 — *Données économiques.* — L'admirable création de M. Chaudron a fait un chemin rapide; elle est devenue aujourd'hui tout à fait classique. Elle diminue souvent dans une proportion importante les frais de fonçage auxquels on se trouverait conduit avec la méthode ordinaire des avaleresses. Elle permet de passer, là où cette dernière resterait en échec. Elle place le sondage dans des conditions plus avantageuses que le procédé Guibal, puisque l'on opère, non plus à travers un tube, mais sur toute la section; non plus avec des élargisseurs de grattage, mais à l'aide du trépan, qui est l'instrument de sondage par excellence. Elle affranchit des limites de profondeurs imposées au système Triger.

On exécute couramment aujourd'hui des cuvelages de cent mètres de hauteur, au-dessous du premier niveau aquifère rencontré. Un certain nombre ont dépassé cette limite; celui de Maurage (Belgique) a 190 mètres. Les puits de Ghlin ont nécessité des colonnes de 300 mètres et de 1800 tonnes.

Quant au diamètre, il reste compris en général entre 3 et 4 mètres, bien que l'on ait atteint parfois 5 mètres dans le bassin de Newcastle [1].

Le tableau suivant, rapproché de ceux que nous avons déjà donnés (Nos 345 et 366), fournira des éléments de comparaison pour le prix de revient et la vitesse d'avancement.

[1] *CRM*, janvier, 1877, 11. — Le puits de Cannock, commencé sur 5m,80 de diamètre, a été achevé sur 5m,48 (Habets, *Exposition de* 1878, groupe VI, classe 50, 32).

Digitized by Google

DÉSIGNATION		DÉPENSE		DIAMÈTRE		PROFONDEUR	DURÉE	AVANCEMENT		NATURE DU TERRAIN
PUITS	RÉGION	TOTALE	PAR MÈTRE COURANT	FORÉ	UTILE		TOTALE	Mètres par mois	Jours par mètre	
		Francs	Francs	Mètres	Mètres	Mètres	Mois			
L'Hôpital, n° 2	Moselle	401 871	2 810	4,25	3,40	159	36	4,42	6,70	Grès des Vosges et nouv. grès r^ge.
Rothausen, n° 2	Westphalie	328 618	3 199	4,25	3,65	103	25	4,02	7,46	Marnes blanches.
L'Hôpital, n° 1	Moselle	240 181	1 669	2,50	1,80	159	42	3,97	7,40	Grès des Vosges et nouv. grès r^ge.
Saint-Waast	Belgique	209 351	3 100	4,25	3,63	98	29	3,38	8,87	Marnes crayeuses et sables.
Liévin, n° 3	Pas-de-Calais	198 000	2 226	4,30	3,65	89	12	7,41	3,93	Craie solide, argiles.
L'Escarpelle, n° 1	Nord	175 044	1 731	2,85	2,20	101	11	9,90	3,03	Sables et craie.
Rothausen, n° 1	Westphalie	169 748	1 720	2,52	1,90	99	25	4,04	7,42	Marnes vertes.
Sainte-Barbe	Belgique	150 446	2 752	4,25	3,65	55	18	5,03	5,90	Argiles, marnes, sables boulants.
Sainte-Marie	Belgique	64 458	1 036	2,32	1,82	105	13	8,09	3,70	» »

Digitized by Google

§ 5

PROCÉDÉ PŒTSCH

381 — Une dernière méthode de fonçage à niveau plein, entièrement différente des précédentes, consiste à congeler les terrains aquifères que doit traverser le puits, pour les transformer en une roche résistante et imperméable (1). Ce principe, dont une première application, fort imparfaite d'ailleurs, avait été essayée en 1862 dans une mine du Pays de Galles (2), a été appliqué industriellement par M. Pœtsch, qui l'a réalisé pour la première fois en 1883 au puits Archibald, de la concession Douglas, dans la région lignitifère de Schneidlingen (Saxe). L'idée de M. Pœtsch consiste à enfoncer dans le terrain une série de tubes, formés de deux tuyaux concentriques, à l'intérieur desquels il fait circuler d'une manière continue un liquide incongelable, maintenu à très basse tempéra-

(1) André Dumont, *Mémoires de l'Union des ingénieurs de Louvain*, 21 octobre 1883. — Haton de la Goupillière (*Bull. Soc. d'enc.*, 22 février 1884. — *Revue des travaux scientifiques*, V, 155). — Lebreton, *Annales*, 8e, VIII, 111. — Alby, *Ibidem*, 8e, XI, 56; *Annales des ponts et chaussées*, septembre 1887. — *Portefeuille économique des machines*, 1884, 54. — *Moniteur industriel*, 20 mars et 15 mai 1884, et XXII, 164. — *Génie civil*, V, 39 et 337; VII, 99; IX, 46; XXIII, 144. — *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 20 et 30 mars 1884. — *CRM*, 1884, 76 et 99; 1891, 152; 1894, 34, 209; 1895, 73. — *Bull. min.*, 2e, XIII, 583; 3e, II, 21. — Saclier, Fonçage des puits de Vicq par le procédé Poetsch, *Bull. min.*, 3e, IX, 29. — Schmidt, Emploi de la congélation pour l'exécution de travaux en terrains aquifères, *Bull. min.*, 3e, IX, 273. — *Mémoires des ingénieurs civils*, août 1884, 162. — *Œsterreichische Zeitschrift*, 1883, 396. — *Zeitschrift BHS*, XXXI. — *Colliery Guardian*, 16 novembre 1883 et 25 janvier 1895. — *The Engineer*, 30 novembre 1883. — *Vereins Mittheilungen*, 1883, 95 et 107. — *Zeitschrift des Vereins Berggeist zu Siegen*, 3 novembre 1883, 29. — Dr Weitz, *Die Pœtsch'sche Methode zum Abteufen*, Berlin, Max Pasch, 1885. — Pœtsch, *Abteufen von Schächten*, in-18, Dresde, 1883. — Pœtsch, *Das Gefrierverfahren*, 1886.

(2) En Sibérie, on utilise la congélation naturelle du sol pour le fonçage des puits, notamment dans les recherches de couches aurifères. Le terrain étant solidifié jusqu'à une profondeur parfois considérable, un feu de bois allumé à l'emplacement du puits dégèle d'abord la couche superficielle, qui est ensuite déblayée. On laisse alors agir de nouveau la gelée pendant quelque temps pour augmenter l'épaisseur de glace au fond de l'excavation; puis on dresse un nouveau bûcher, et ainsi de suite. On a atteint ainsi des profondeurs d'une vingtaine de mètres dans les contrées les plus froides. Ce système a même été appliqué pour creuser des puits au milieu des rivières (Schmidt, *Bull. min.*, 3e, IX, 286; *Berg und Huttenmännische Zeitung*, 1891, 87).

Digitized by Google

ture. Au sortir de ces tubes, le fluide traverse le réfrigérant d'une machine à glace, où il abandonne les calories dont il s'est chargé pendant son parcours ; puis il est renvoyé à l'aide de pompes dans la canalisation. On arrive ainsi à congeler la masse du terrain sur toute la hauteur voulue, et avec une épaisseur suffisante pour maintenir la pression hydrostatique pendant le temps nécessaire au fonçage et à l'exécution du cuvelage.

382 — *Installation des tubes.* — Dans les premières applications de son système (fig. 275), M. Pœtsch utilisait, pour la circulation du liquide réfrigérant, les tubes servant au revêtement des trous de sonde; une fois le forage terminé, ces derniers étaient fermés à leur base par des bouchons de plomb, recouverts d'argile et de ciment ; puis on descendait à l'intérieur de chacun d'eux un petit tube percé de trous à sa partie inférieure.

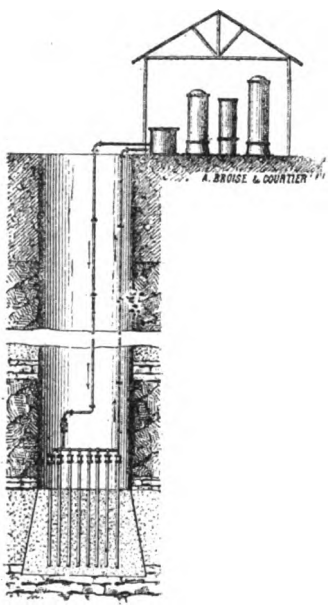


Fig. 275.
Fonçage Pœtsch par congélation.

Mais cette manière d'opérer avait l'inconvénient d'amener des fuites, soit à la base des tuyaux dont la fermeture était imparfaite, soit en des points où ils avaient été affaiblis par le frottement pendant leur descente. Or les accidents de ce genre sont graves, car le liquide réfrigérant qui se répand dans le terrain le rend incongelable, et le succès de l'opération se trouve compromis. On évite aujourd'hui cet écueil en ne revêtant les trous de sonde que d'un tubage provisoire en tôle mince, à l'intérieur duquel on descend les tubes congélateurs, et que l'on retire ensuite autant que possible avant de faire circuler le liquide réfrigérant. Les tuyaux provisoires présentent une résistance très inférieure à celle des conduites défi-

Digitized by Google

nitives, afin que ceux que l'on aura dû abandonner dans les sondages cèdent de préférence à ces dernières, lorsque l'eau qui les sépare augmentera de volume pour se transformer en glace.

Les tubes congélateurs (fig. 276) sont en tôle de fer ou d'acier très doux. Ceux à travers lesquels descend le liquide ont 30 à 40 millimètres de diamètre; les tubes extérieurs, fermés par le bas, 110 à 150 millimètres. Leur assemblage doit être fait avec grand soin, de manière à éviter les fuites; il faut que les joints présentent une résistance au moins égale à celle des tuyaux eux-mêmes, et qu'en outre ils ne forment pas de saillie extérieure, afin de faciliter l'arrachage à la fin de l'opération. L'on se trouve ainsi conduit à réaliser cet assemblage, soit en vissant les tubes l'un à l'autre à mi-épaisseur, soit en les réunissant par un manchon inférieur fileté. Il convient d'ailleurs d'essayer, après la pose, les tuyaux et leurs joints à une pression au moins double de celle qu'ils auront normalement à supporter.

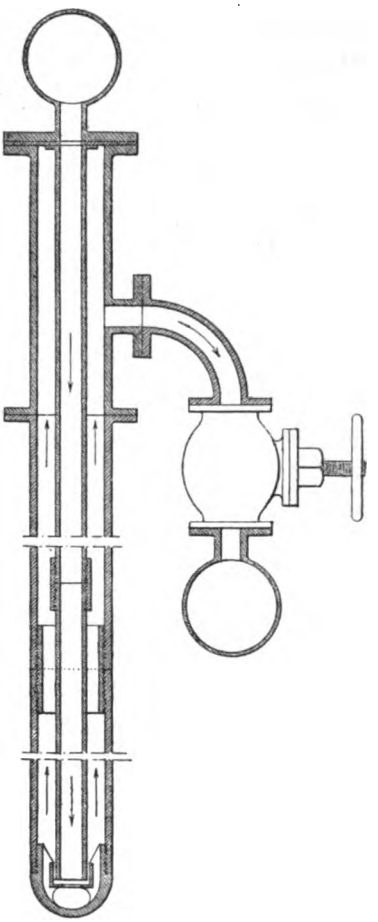


Fig. 276. — Tube congélateur.

383 — La disposition générale des tubes a subi également des modifications notables depuis la mise en pratique du procédé Pœtsch. Au début, l'inventeur les plaçait suivant une ligne concentrique et intérieure au périmètre du puits (fig. 275); mais la présence de ces organes constitue dans ces conditions une gêne con-

Digitized by Google

sidérable pour le fonçage ultérieur. Ce sont d'ailleurs les masses environnantes qu'il convient surtout de solidifier pour maintenir les eaux pendant le creusement; et ce dernier travail n'en sera que plus rapide et plus économique, si l'on n'a pas congelé la section même de la fosse.

On place donc actuellement les tubes à l'extérieur (fig. 277, 278), en les répartissant d'après des intervalles égaux sur une ligne tracée à 1 mètre de la paroi intérieure du puits projeté, c'est-à-dire à $0^m,60$ environ en dehors du périmètre de la partie à creuser; leur espacement est voisin de 1 mètre. La profondeur modérée de ces forages permet souvent de les exécuter par le procédé du sondage à la corde. On veillera d'une manière spéciale à ce qu'ils soient parfaitement verticaux.

Lorsque l'on a pu trouver au-dessous des niveaux aquifères une couche imperméable, cette ceinture de tubes autour du puits suffit, à la condition de les enfoncer jusqu'à ce banc. Mais il faut éviter que les sondages traversent la masse protectrice. Après avoir poussé un premier trou de sonde à une profondeur plus grande, pour reconnaître les terrains sous-jacents, on le bétonnera jusqu'au niveau de cette couche, en y arrêtant les forages suivants.

Il n'est plus possible d'opérer de même quand il n'existe pas de banc nettement imperméable limitant la partie du puits à foncer à niveau plein. C'est le cas qui se présente, par exemple, lorsqu'après avoir traversé à l'aide du système Pœtsch des terrains très aquifères, on ne doit plus rencontrer ensuite que des couches dont la venue d'eau est très réduite, et où le fonçage à niveau bas reste possible avec des moyens d'épuisement restreints. Il faut alors congeler le noyau central des terrains traversés; sinon il se produirait pendant le creusement des rentrées d'eau par la partie inférieure, risquant de dégeler par leur courant les murailles de glace obtenues. Dans ce cas, on ne se contentera plus des tubes extérieurs au puits; on en placera en outre un ou plusieurs vers son milieu, destinés à solidifier le noyau. L'expérience montre qu'un seul tube enfoncé au centre suffit presque toujours, même pour des puits dont le diamètre utile est voisin de 5 mètres.

En effectuant à l'aide de tubes ainsi disposés la congélation de

Digitized by Google

toute la masse des terrains à traverser, on a quelquefois rencontré des difficultés spéciales provenant de ce qu'elle se propageait avec des vitesses inégales aux diverses profondeurs, soit par suite de la

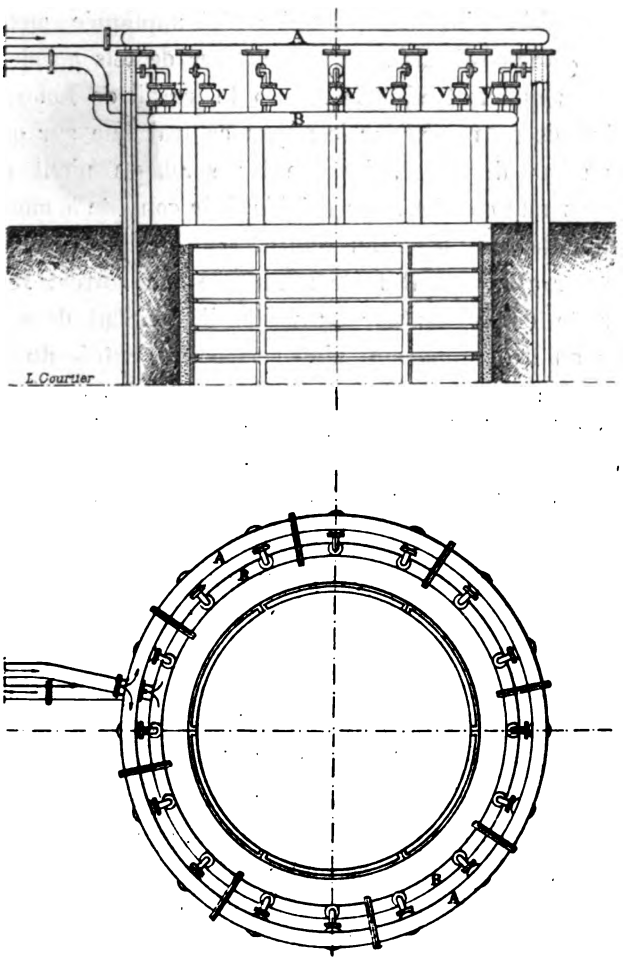


Fig. 277 et 278. — Fonçage par congélation (coupes verticale et horizontale).

conductibilité variable des différentes couches et de la proportion plus ou moins grande d'eau qu'elles renfermaient, soit par l'effet de courants souterrains retardant l'action des tubes congélateurs. Dans ces conditions, des parties très aquifères se sont trouvées

Digitized by Google

emprisonnées au milieu de parois de glace. Lorsque ensuite elles se sont elles-mêmes solidifiées, leur dilatation a brisé cette enveloppe, et quelquefois faussé et disloqué des tubes au point d'amener dans le terrain des fuites de liquide incongelable [1].

Une disposition ingénieuse, qui a été appliquée aux mines de Dourges (Pas-de-Calais), permet d'éviter de tels accidents, en même temps qu'elle facilite beaucoup le travail de fonçage. Elle a pour but de ne consolider le noyau central [illegible] sur quelques mètres au bas du puits, lorsque les sondages n'ont pas été arrêtés dans une couche imperméable. Elle consiste à modifier la constitution du tube placé au centre. Dans sa partie basse, sur 5 mètres par exemple, il reste semblable aux autres; mais sur tout le reste de la hauteur du puits, il contient deux tuyaux intérieurs au lieu d'un seul. L'un sert pour l'entrée du liquide, l'autre pour sa sortie; l'intervalle libre qui les environne est rempli de sciure de bois sèche. On soustrait ainsi à l'action du froid la plus grande partie du noyau central, et on le congèle d'autant plus rapidement à son extrémité inférieure.

384 — Nous signalerons encore une complication particulière qui se présente lorsque les trous de sonde traversent des nappes jaillissantes. Comme tout mouvement du liquide dans les terrains à solidifier retarde le résultat, il est indispensable de s'opposer au déversement au dehors des eaux ainsi rencontrées. La solution dépend de l'épaisseur de la nappe artésienne, et de la hauteur de son niveau piézométrique au-dessus du sol. On pourra par exemple, dans certains cas, revêtir les trous de sonde, sur toute la traversée de la nappe, d'un tubage spécial noyé extérieurement dans le ciment; ou bien, si le niveau piézométrique dépasse peu celui du sol, on captera les eaux jaillissantes de chaque sondage à l'aide d'un tube s'arrêtant à la nappe, entouré de ciment dans la couche étanche qui la surmonte, et s'élevant à la surface au-dessus de ce niveau piézométrique.

[1] En pareil cas, si la rectilignité du forage n'est pas trop compromise, on retire le tuyau intérieur, et on descend dans le tube avarié un nouveau système de conduites concentriques, d'un diamètre extérieur un peu moindre.

Digitized by Google

385 — Nous avons supposé jusqu'ici que les terrains devaient être congelés à partir de la surface du sol. Mais lorsque le niveau de l'eau ne se trouve qu'à une certaine profondeur, le refroidissement des terrains supérieurs constituerait une dépense inutile. On l'évitera, si ce niveau est peu éloigné du sol, en creusant d'abord jusqu'au voisinage de la nappe un avant-puits sur une section plus grande que la couronne de tubes. C'est ensuite au fond de ce derr r que l'on forera les trous de sonde. Si le niveau se trouve à tro" grande profondeur pour permettre d'opérer ainsi, l'on commencera le fonçage avec la section définitive, et l'on s'élargira avant d'arriver aux terrains aquifères, afin de disposer de l'emplacement nécessaire pour placer les tubes à l'extérieur de la section. Les forages exécutés ainsi présentent des difficultés spéciales, et l'on a parfois été conduit à leur donner des directions légèrement inclinées sur l'axe du puits. Dans certains cas, on pourra trouver avantage à enfoncer les tubes à partir de la surface, mais en limitant leur action réfrigérante aux terrains aquifères au moyen d'une disposition analogue à celle que nous avons indiquée plus haut en ce qui concerne le tube central.

386 — Une fois les tubes congélateurs placés, on les réunit à leur partie supérieure par deux couronnes collectrices (fig. 277, 278), dont l'une A reçoit le liquide incongelable venant du réfrigérant et le répartit entre les petits tuyaux intérieurs, tandis que la seconde B rassemble le liquide qui remonte par les tuyaux extérieurs et le ramène au réfrigérant. Des vannes V permettent de régler le débit dans les divers tubes. Toute cette tuyauterie est recouverte de tresses de paille, ou d'une autre enveloppe isolante.

387 — *Congélation.* — A la surface, l'installation comprend une machine à glace dont le choix n'a rien d'obligatoire. En Allemagne, M. Pœtsch a fait usage d'un appareil d'affinité, du genre Carré. En France, on a plutôt utilisé la compression de l'ammoniaque, notamment avec le système Fixary.

Quel que soit le type de machine adopté, il comporte un réfrigérant, où des serpentins parcourus par du gaz ammoniac à très

Digitized by Google

basse température sont noyés dans le liquide venant des tubes congélateurs, et lui soutirent les calories dont il s'est chargé à l'intérieur du terrain.

Ce liquide froid contient 40 pour 100 de chlorure de calcium; il ne se congèle qu'à — 40 degrés; sa chaleur spécifique est de 0,68 par kilogramme, et sa densité de 1,25. A mesure que le terrain se refroidit, la température de la solution venant des tubes congélateurs est de plus en plus basse. Elle diminue en général de 2 à 3 degrés par son passage à travers le réfrigérant; puis une pompe la refoule de nouveau dans les tubes, en lui assurant un mouvement permanent. La température du fluide au sortir du réfrigérant atteint finalement — 15 à — 20 degrés.

D'après ce qui précède, on calcule facilement la puissance que doit avoir la machine frigorifique. Le débit du liquide est en effet limité par sa vitesse dans les tubes intérieurs, qui ne peut guère dépasser $1^{m},25$ par seconde. En connaissant d'ailleurs la densité de la solution et sa chaleur spécifique, et admettant que son passage par le réfrigérant abaisse sa température de deux degrés et demi en moyenne, on déduit du débit le nombre de *frigories* à produire par heure; il est toutefois nécessaire de réserver une certaine marge pour les pertes par rayonnement.

Lorsque la machine a été mise en marche, il se forme d'abord autour des trous de sonde des cylindres de glace, dont l'épaisseur augmente progressivement. Lorsque leur diamètre atteint 1 mètre, ils se soudent entre eux et forment autour de l'emplacement du puits une enceinte continue. A partir de ce moment, l'épaisseur s'accroît plus rapidement du côté de l'intérieur, où la paroi congelée ne se trouve en contact qu'avec une masse restreinte, que vers l'extérieur où les déperditions sont beaucoup plus importantes.

Il est difficile de préciser par le calcul l'épaisseur minima que doit présenter aux diverses profondeurs la muraille de glace, pour résister aux pressions hydrostatiques environnantes pendant le fonçage. Il faudrait connaître à cet effet la résistance des terrains congelés, variable non seulement suivant leur nature et leur température, mais aussi d'après la proportion inconnue d'eau qu'ils renferment. Le calcul ne permet pas non plus d'apprécier

Digitized by Google

exactement quel est, à un moment donné et dans les différentes couches, d'après le nombre de calories déjà absorbées par la machine frigorifique, l'épaisseur de la paroi de glace sur laquelle on peut compter. Celle-ci dépend d'une série de données qu'il serait difficile d'évaluer *a priori* avec une approximation suffisante. La capacité calorifique d'un terrain, par exemple, soit avant, soit après sa solidification, subit des variations considérables en raison de la quantité d'eau qui s'y trouve contenue, et cette dernière ne peut guère être appréciée avant le fonçage, notamment pour les couches brisées et fissurées.

En fait, on suit la marche de l'opération tant en observant la température du liquide à sa sortie des tubes, qu'à l'aide de thermomètres enfoncés dans le sol. Si la congélation est en retard autour d'un ou plusieurs tubes, on augmente pour eux le débit du liquide froid. Tout mouvement des eaux souterraines ralentissant, comme nous l'avons dit, le refroidissement des terrains pour l'ensemble ou pour une partie du puits, on s'abstiendra d'en provoquer aucun, soit en plaçant à peu de distance un puits destiné à l'alimentation des machines et chaudières, soit en déversant dans le sol des liquides quelconques, et à plus forte raison des eaux chaudes de condensation. On a parfois retardé beaucoup le phénomène, pour des puits commencés à niveau bas et approfondis ensuite par le procédé Pœtsch, en continuant à épuiser les eaux pendant la période de refroidissement.

On entreprend en général le fonçage lorsque l'épaisseur de la muraille de glace atteint 1 mètre ou $1^{m},50$ à la partie supérieure des terrains aquifères, tout autour de la fouille à creuser dans le sol. Le début des opérations se trouve ainsi placé dans de bonnes conditions. Mais on n'arrête pas la marche de la machine à glace, qui doit continuer son fonctionnement pendant tout le temps du déblai. L'épaisseur de la partie solide s'accroîtra donc constamment durant le fonçage, en même temps que la pression hydrostatique deviendra de plus en plus élevée au niveau du chantier. Aux mines de Dourges, pour une fosse de 58 mètres de profondeur et de $4^{m},80$ de diamètre utile, la durée de la période de congélation, précédant le fonçage, a été de 50 jours.

Digitized by Google

388 — *Fonçage.* — Le creusement du puits s'effectue à l'abri de la muraille de glace par les procédés ordinaires d'abatage à la main. Si l'on n'a pas solidifié l'intérieur du puits, le fonçage est rapide; on remonte avec les terres l'eau dont elles sont imprégnées. Si la totalité de la section est congelée, l'abatage sera plus lent, car la consistance de la masse est alors analogue à celle d'un grès tendre avec cassure conchoïdale. La vitesse d'avancement est dans ces conditions de $0^m,50$ à 1 mètre au maximum par jour. On a essayé en pareil cas de faciliter le travail par des jets de vapeur lancés contre le fond du puits; mais ce procédé n'a pas accéléré l'avancement. On devra ne faire usage d'explosifs qu'avec une grande prudence, et n'employer à cet effet que la poudre noire, en faibles charges.

Bien que les parois de glace soient maintenues à une température voisine de $-15°$, celle de l'air dans le puits en fonçage ne descend jamais aussi bas; dans le chantier même, autour des ouvriers, elle reste le plus souvent comprise entre 0 et $-5°$; elle s'abaisse parfois davantage lorsque le puits est profond et gelé sur toute sa section.

La pose du cuvelage se fait comme d'ordinaire sur trousses picotées et par retraites successives. Celles-ci seront de faible longueur, si l'on a quelque raison de suspecter la solidité des parois. Mais lorsque l'épaisseur de glace est suffisante et qu'il ne se produit aucune espèce de suintement, on opère souvent par grandes retraites, en soutenant seulement les terrains au moyen de quelques cadres provisoires. On a employé pour les puits foncés par ce procédé soit des cuvelages en bois (N° 284), soit des muraillements en maçonnerie (N° 295), soit des blindages en fonte (N° 303). S'il est fait usage du bois, on le choisira parfaitement sec. En outre il est bon de n'employer, pour la maçonnerie ou pour le béton que l'on pilonne derrière les cuvelages, que du ciment gâché avec de l'eau rendue incongelable par une addition de sel marin, de soude, ou de chlorure de calcium.

Aussitôt le fonçage et le revêtement terminés, on arrête le fonctionnement de la machine frigorifique. L'arrachage des tubes peut être entrepris immédiatement après qu'on les a vidés de la solu-

Digitized by Google

tion chlorurée, et réchauffés par un courant de vapeur ou d'eau chaude. Il sera prudent, surtout avec les cuvelages en bois, de noyer à ce moment l'intérieur du puits, et de ne le vider, pour mettre le revêtement en charge, qu'après le dégel des terrains.

389 — *Données économiques.* — Le procédé de fonçage par la congélation dû à M. Pœtsch, après avoir été appliqué surtout en Allemagne, se trouve couramment employé depuis quelques années en France par les Compagnies du Nord et du Pas-de-Calais, dont les puits ont à traverser des terrains très aquifères. De 1891 à 1895, une dizaine de fosses ont été exécutées dans ce bassin d'après ce remarquable système.

Nous citerons notamment le creusement simultané de deux puits par la Compagnie d'Anzin, à son siège de Vicq[1]. Ces fosses ont l'une 5 mètres, l'autre $3^m,65$ de diamètre utile, et sont distantes de 37 mètres l'une de l'autre; elles ont été foncées à l'aide de la congélation sur 92 mètres de profondeur, jusqu'aux terrains *bleus* qui constituent une assise imperméable. Le premier fonçage a été entouré de 20 tubes, le second de 16, sans tube central. Le volume du liquide réfrigérant en mouvement était de 62 mètres cubes; des pompes le refoulaient dans les deux groupes de congélateurs, avec un débit total de plus de 2 mètres cubes par minute. L'installation frigorifique se composait d'un moteur à vapeur horizontal de 200 chevaux à deux cylindres, et d'une machine à compression d'ammoniaque du système Linde, comprenant quatre cylindres compresseurs, deux condenseurs à ammoniaque de 120 mètres carrés, et deux réfrigérants de 130 mètres carrés. Cet appareil, chargé de 730 kilogrammes d'ammoniaque anhydre, avait une puissance de plus de 300 000 frigories par heure dans son réfrigérant. L'exécution des sondages et des captages d'eaux jaillissantes a duré quatre mois; la période de congélation proprement dite, quarante jours; enfin le fonçage et le cuvelage des puits jusqu'à 118 mètres de profondeur, cinq mois.

Le procédé Pœtsch semble appelé à se répandre de plus en plus

[1] *CRM*, 1894, 209. — *Génie civil*, XXIII, 6 et 144. — *Bull. min.*, 3e, IX, 20.

Digitized by Google

pour la traversée des terrains aquifères. On doit le considérer comme donnant une grande certitude au point de vue des résultats. Il permet d'effectuer le creusement dans des conditions particulièrement faciles et sûres; il évite les soutènements immédiats, ainsi que les dépenses et les dangers qu'entraîne la lutte contre les eaux par la voie de l'épuisement. Il a en outre sur le procédé Chaudron l'avantage de n'exclure aucun mode de revêtement.

Le prix de revient du fonçage par la congélation est relativement modéré. Suivant le diamètre du puits, ou les difficultés spéciales que présente le travail, il varie en général de 1 600 à 2 400 francs par mètre courant, dont la moitié ou les deux tiers pour le refroidissement, y compris la location d'une machine à glace.

390 — *Tunnels.* — Nous ajouterons que ce système paraît pouvoir rendre des services non seulement pour le fonçage des puits, mais aussi pour le percement des tunnels [1]. Toutefois si la section à exécuter dans des terrains aquifères et coulants atteignait une longueur notable, l'enfoncement horizontal des tubes congélateurs sans aucune déviation présenterait de grandes difficultés. On a proposé d'y remédier en ne solidifiant le terrain que sur quelques mètres à la fois, et en terminant le revêtement de cette travée avant de passer à la suivante. Dans le cas où l'épaisseur du recouvrement serait faible, on pourrait opérer, par sections successives également, au moyen de tubes verticaux isolés à leur partie supérieure et ne congelant les terres qu'à l'emplacement du tunnel.

Une application originale du système de la congélation a été faite à Stockholm pour le percement d'un souterrain, dans des terrains aquifères inconsistants, sur une longueur de 24 mètres et avec une section de 4 mètres sur 4. L'extrados du tunnel passait à 3 mètres à peine sous les fondations des maisons de la ville. M. Lindmark résolut le problème en plaçant à 1 mètre du front de taille une

[1] *Génie civil*, IV, 395. — *Bull. min.*, 3e, II, 28; IX, 405. — *Annales industrielles*. 1886, 6. — *La Nature*, 1886, 2e sem., 145.

Digitized by Google

cloison isolante, et en faisant circuler pendant 24 heures dans la chambre ainsi formée un courant d'air refroidi à — 50°; au bout de ce temps, les terrains étaient consolidés sur 2 mètres d'épaisseur en moyenne; on enlevait alors la cloison, pour avancer de 1 mètre à la main; puis on la replaçait à 1 mètre du nouveau front pour faire agir de nouveau le courant congélateur. On a continué de même sur toute la longueur de la section aquifère, en faisant suivre constamment l'avancement par un muraillement étanche.

Digitized by Google

Digitized by Google

QUATRIEME PARTIE

MÉTHODES D'EXPLOITATION

CHAPITRE XV

AMÉNAGEMENT GÉNÉRAL

§ 1

DÉTERMINATION DES PUITS

391 — *Généralités.* — Aucune branche de l'industrie ne comporte, à un plus haut degré que celle des mines, les vues d'avenir et l'organisation de longue haleine. Si certaines exploitations ne sont appelées par la nature du gisement qu'à une existence éphémère, d'autres au contraire, encore en activité, remontent à l'antiquité la plus reculée. En même temps que l'intensité de la production tend partout à s'accroître de jour en jour, la majoration progressive de certains prix, et notamment de la main-d'œuvre, conduit à apporter un ordre plus attentif dans les travaux souterrains. La hâte de réaliser de faciles bénéfices, l'inadvertance des premières dispositions, peuvent léguer aux générations futures l'incendie, l'inondation, la perte totale d'une partie du gisement. Il convient d'*exploiter en bon père de famille.* L'intérêt bien entendu des Compagnies, celui de la fortune publique, y sont également engagés. La réforme législative de 1810 est entrée à cet égard dans un

Digitized by Google

esprit dont les fécondes conséquences se déroulent encore sous nos yeux. En fixant la perpétuité de la propriété souterraine, le législateur sollicite l'exploitant à ne rien perdre, là où trop souvent chacun ne songeait autrefois qu'à se faire rapidement la meilleure part, sans se préoccuper des conséquences d'un tel égoïsme pour l'enlèvement du reste du gîte.

Tous les jours, on voit s'accuser davantage la tendance à prendre plus au sérieux la méthode d'exploitation adoptée, et à en imposer l'application d'une manière étroite. « Une méthode médiocre, mais pratiquement observée, présente en effet plus d'avantages qu'une méthode théoriquement excellente, mais imparfaitement appliquée [1]. » L'époque actuelle a vu se continuer le développement du mouvement si remarquable commencé depuis une soixantaine d'années pour perfectionner ces méthodes, les adapter aussi exactement que possible aux conditions des divers gisements, et par une conséquence inévitable, les varier de plus en plus. Il s'en faut de beaucoup aujourd'hui que leur nomenclature soit aussi réduite et aussi simple qu'elle l'était autrefois. Le stimulant énergique de la concurrence étrangère, de la part de voisins plus favorisés que nous par les conditions naturelles, a puissamment agi sur nos ingénieurs, et a eu pour résultat de constituer, pour la précision des méthodes, une *école française* qui n'a rien à redouter de la comparaison avec toutes les autres.

392 — L'organisation d'une mine comprend deux ordres de travaux. On a tout d'abord à créer l'agencement général des organes permanents de fonctionnement, dont les procédés de construction ont fait l'objet de la troisième partie de ce Cours. Il faut, en second lieu, mettre d'une manière rationnelle ces moyens d'action en rapports avec des chantiers toujours renouvelés, s'éteignant

[1] Devillaine (*Notice sur la Société anonyme des houillères de Montrambert et la Béraudière*, 1878, Saint-Étienne, p. 72). M. Harmet s'exprime de même : « On pourrait dire que toutes les méthodes d'exploitation sont bonnes, pourvu qu'elles soient régulièrement et rigoureusement appliquées, et si elles satisfont aux trois conditions suivantes : bon aménagement et épuisement complet du gîte, protection et sûreté de l'ouvrier, enfin prix de revient réduit. » (Exploitation des couches puissantes, *Bull. min.*, 1er, IV.)

Digitized by Google

sur un point pour se développer sur un autre, de manière à finir par embrasser successivement toutes les parties du gîte. La première partie de cette question constitue l'*aménagement général* de la mine, dont les figures 279, 280, 281 présentent quelques exemples, et la seconde sa *méthode d'exploitation* (1).

C'est cette dernière surtout qui a pour résultat de diversifier les différentes mines, en les rattachant à un certain nombre de types essentiels, qu'il

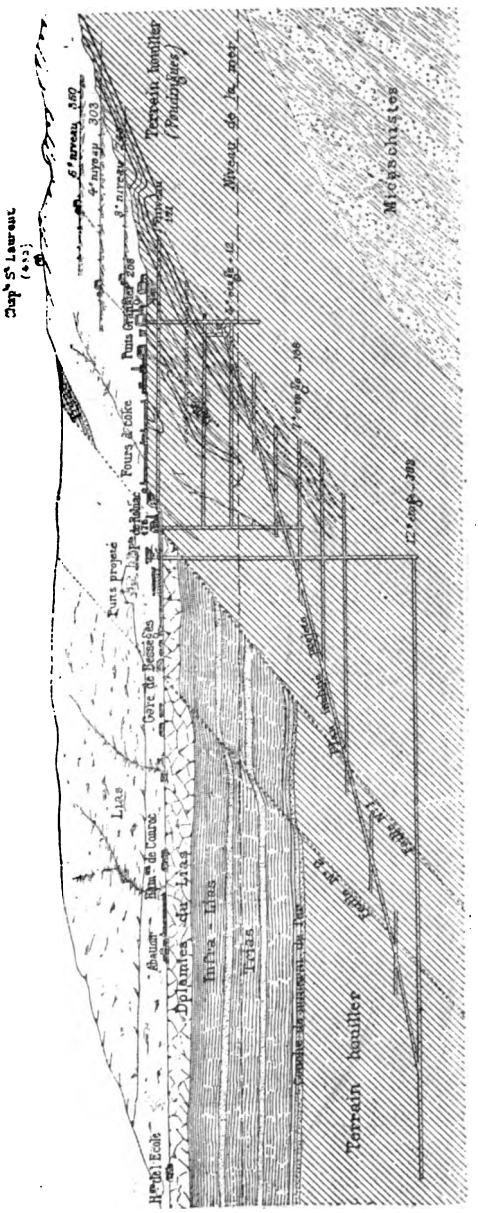


Fig. 279. — Aménagement de la houillère de Bessèges (coupe verticale).

(1) Delafond. Méthodes d'exploitation des couches puissantes, *Annales*, 8e. XIX, 253. — Mathet, Aperçu général sur le mode d'exploitation des mines de Blanzy, *Bull. min.*, 3e, VII, 343. — Dujardin-Beaumetz, Méthodes d'exploitation, *Revue technique de l'Exposition de* 1889 de Vigreux, n° 8, avril 1890. — Exploitation des couches minces par grandes tailles, *Engineering and mining journal*, 18 mai 1895. — Exploitation des veines minces, *Colliery Guardian*, 18 janvier 1895. — Méthodes d'exploitation défectueuses dans l'État d'Ohio, *Colliery Guardian*, 5 juillet 1895.

Digitized by Google

serait impossible de faire rentrer les uns dans les autres. Au contraire, l'aménagement d'ensemble offre un caractère beaucoup plus uniforme, et ne présente guère que des différences locales, qui n'affectent que dans une faible mesure ses principes généraux. C'est à les faire connaître que nous consacrerons le présent chapitre.

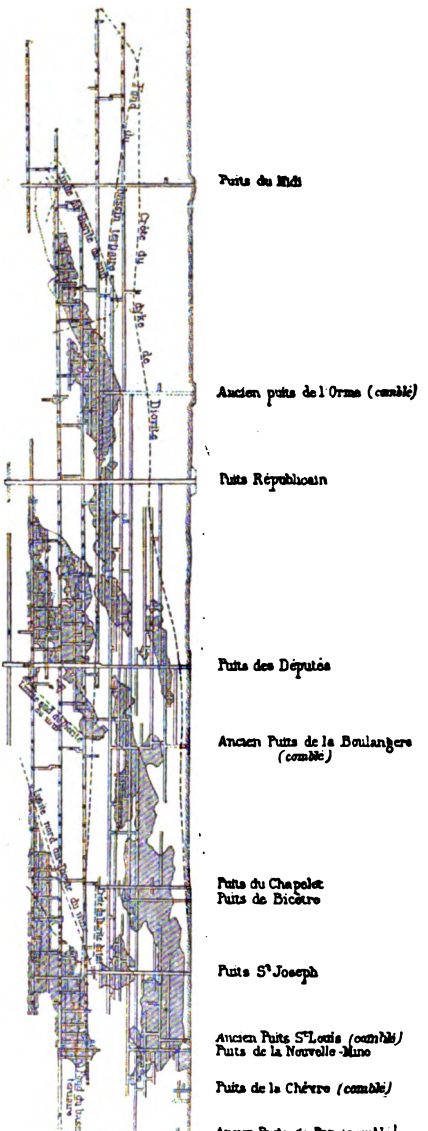


Fig. 290. — Aménagement du filon de Pontpéan (coupe verticale).

On ne devra pas oublier toutefois qu'il est impossible, dans la pratique, de distinguer d'une manière absolue les deux périodes d'aménagement et d'exploitation. Après la phase proprement dite des recherches, suivie de la concession, vient celle de l'aménagement fondamental, et de la mise en valeur d'un certain nombre de quartiers. Toutefois, pendant que l'on procède au dépècement de ces derniers, la période des *travaux préparatoires* ne s'arrête pas pour cela. Il en faut exécuter à temps une certaine quantité d'autres, de manière que les diverses parties de l'exploitation se succèdent les unes aux autres sans interruption, et dans un ordre

Digitized by Google

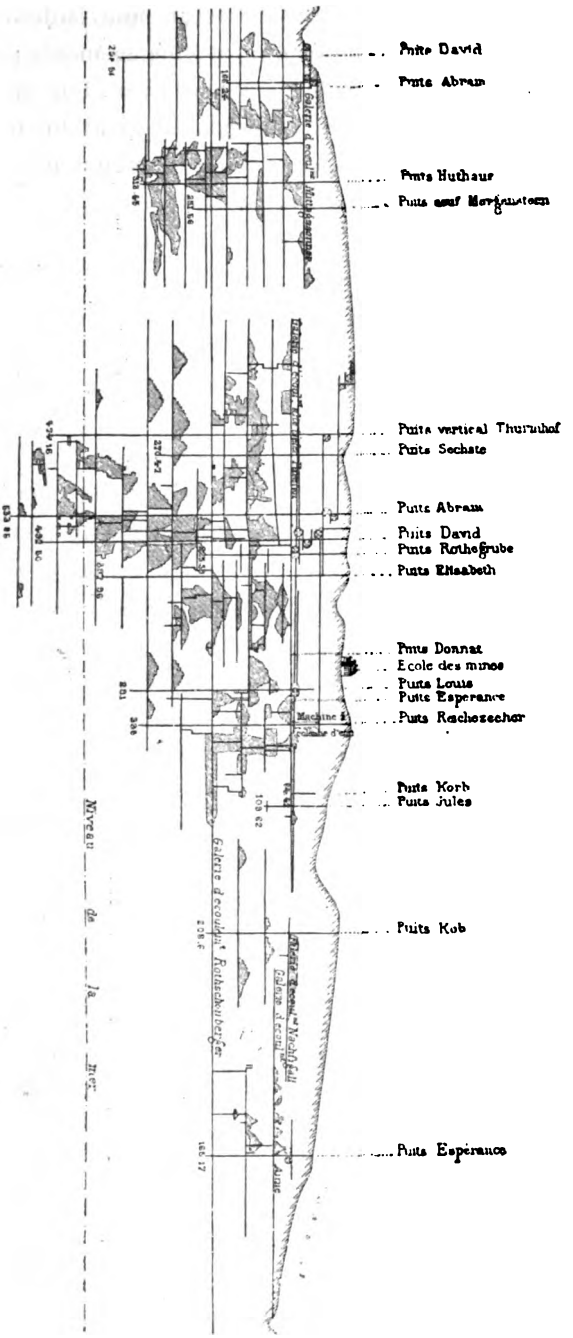


Fig. 281. — Aménagement du district de Freyberg (coupe verticale).

Digitized by Google

rationnel. Mais en même temps ce serait une faute d'imposer à l'organisation de la mine l'exécution d'aménagements prématurés, qui ne pourraient que se détériorer peu à peu, tout en grevant le budget de l'intérêt de capitaux improductifs. L'avenir d'une affaire dépend en partie de l'intelligence et de l'à-propos qui président à l'organisation de ces travaux préparatoires.

393 — *Nombre des points d'accès.* — Avant tout, il s'agit d'atteindre le gisement par un plus ou moins grand nombre d'avenues, qui seront, suivant les circonstances, des galeries ou des puits. Nous supposerons, pour fixer le langage, qu'il s'agisse de ces derniers.

En augmentant leur nombre, on développera évidemment les facilités d'exploitation, ainsi que la sécurité de la population souterraine; mais comme on accroît en même temps la dépense dans une mesure considérable, il y a lieu de faire, pour chaque cas, une étude des plus attentives de cette question.

Une mine ne peut jamais être considérée comme arrivée à un état normal de développement, tant qu'elle ne possède qu'un seul puits. La loi anglaise et la loi belge, plus autoritaires en cela que la législation française, en exigent au moins deux[1], avec un intervalle suffisamment important pour que ces deux débouchés soient assurés en toute circonstance de rester distincts (N° 338). Au contraire, les puits uniques abondent encore en Saxe. Or bien des éventualités peuvent, dans ces conditions, condamner à une mort affreuse le personnel entier de la mine.

L'incendie peut dévorer les boisages du puits, et asphyxier les hommes en soutirant l'oxygène des travaux et les remplissant de fumées irrespirables. C'est ce qui est arrivé au tunnel du Hauenstein, près d'Olten (Suisse), où soixante-dix hommes ont perdu la vie.

L'éboulement des parois peut détruire la fosse, et rendre impossible de porter secours aux mineurs emprisonnés. A Lugan (Saxe),

[1] L'administration française est d'ailleurs entrée résolument depuis quelque temps dans la voie de la proscription des puits uniques, qu'elle ne tolère plus que dans des cas d'espèce, fortement motivés par des considérations spéciales.

Digitized by Google

le puits Neue Fundgrube s'est effondré ainsi le 1er juillet 1867, et cent ouvriers sont morts de faim dans l'intérieur.

A la mine de Hartley (Newcastle), le 16 janvier 1862, le balancier de la machine à vapeur s'est brisé; l'une des moitiés est tombée dans le puits, et l'a désorganisé de telle sorte que tout le personnel a été perdu; 5 hommes furent tués sur le coup, et 199 autres retrouvés morts, ainsi que 40 chevaux.

Un coup de grisou peut faire sauter les cloisons que l'on établit dans un puits unique, pour y séparer l'entrée et la sortie de l'air. Or un tel accident rendrait toute ventilation impossible, et empêcherait de procéder au sauvetage.

Il résulte de ces considérations que si, en raison des énormes dépenses qu'occasionnent les fonçages effectués dans certains districts, tels que le nord de la France, on a pu tolérer provisoirement le puits unique avec goyot d'aérage, ce ne saurait être que sous la condition de compléter cet aménagement par un second fonçage, aussitôt que les circonstances le permettent. De plus, même avec un puits unique, il convient d'en détacher le double aérage et de ramifier l'un des courants dans un beurtia distinct, dès que l'on parvient au terrain houiller, au sein duquel les percements sont incomparablement moins dispendieux qu'à travers les morts-terrains.

394 — Si l'on s'en tient au minimum théorique de deux puits, on établira l'entrée de l'air dans l'un, et sa sortie par l'autre. Quant à la répartition des autres services, nous avons dit (N° 338) qu'il y règne un certain degré d'arbitraire.

Au-dessus de cette limite minima, le nombre des puits doit tendre à diminuer quand la profondeur vient à s'accroître [1].

[1] On peut s'en rendre compte par un calcul fort simple. Supposons, en effet, pour fixer les idées, un champ d'exploitation horizontal et carré, ayant pour côté l, et situé à la profondeur H. Partageons-le, à l'état de damier, en n^2 carrés distincts, de côté $\frac{l}{n}$. Nous placerons, par la pensée, un puits dans chacun de ces quartiers.

Les dépenses se rapportent à deux ordres différents : les percements et les transports.

Pour le percement, nous avons à distinguer le fonçage des puits et les ouvrages des-

Digitized by Google

Cet élément dépend d'ailleurs de trop de circonstances variables. pour que l'on puisse formuler à cet égard des règles plus précises (1).

tinés au roulage. Si F (H) représente les frais de fonçage d'un puits, il viendra pour l'ensemble n^2 F (H).

Le percement des ouvrages destinés au roulage dans un quartier, est proportionnel à la surface l^2 de ce quartier ; la dépense correspondante peut donc être représentée par Pl^2, en désignant par P une constante. Elle deviendra $\frac{Pl^2}{n^2}$ pour chaque nouveau district : mais comme il en existe n^2, l'ensemble aura pour expression Pl^2. Cette valeur ne dépend pas de n ; le réseau des voies de roulage, en effet, n'exige pas des mailles plus serrées lorsque le nombre des puits augmente.

Quant au travail du transport, il varie, d'une part, en raison du tonnage renfermé dans l'étage (c'est-à-dire l^2h, si h marque la hauteur de cet étage), et, en outre, des distances parcourues. Pour l'extraction verticale, il sera représenté par l^2hf(H), car il est évidemment indépendant de n.

En ce qui concerne le roulage, l'étendue parcourue étant proportionnelle aux dimensions du carré, la dépense par tonne peut être, au moyen d'une constante R, représentée par Rl. Elle devient $\frac{Rl}{n}$, lorsque chaque tonne n'a plus à se mouvoir, pour gagner l'accrochage, que dans le district restreint auquel elle appartient. On aura donc pour le tonnage entier : $\frac{Rl^3h}{n}$.

En définitive, la dépense totale a pour expression :

$$n^2F(H) + Pl^2 + \frac{Rl^3h}{n} + l^2hf(H).$$

Pour la rendre minima, par un choix convenable de la valeur de n, nous annulerons sa dérivée relative à cette variable, ce qui donne l'équation :

$$2nF(H) - \frac{Rl^3h}{n^2} = 0$$

On en déduit :

$$n^3 = \frac{Rl^3h}{2F(H)}.$$

F(H) étant une fonction croissante, on voit que la valeur de n diminue à mesure que H augmente.

(1) Il atteint parfois un degré de multiplicité absolument inouï, qui ne saurait s'expliquer que par des circonstances exceptionnelles et d'ailleurs fâcheuses.

C'est ainsi que la loi espagnole, en morcelant à l'excès les concessions, a conduit parfois à cribler le terrain de puits forés par chacun des concessionnaires, par exemple dans les sierras de Gador et d'Almagrera (Denis de Lagarde, *Richesse minérale de l'Espagne*, 32).

De même, dans le Bleiberg de Carinthie, on trouvait encore en 1845 un total de 836 concessions, dont 450 communiquaient directement avec le jour (Phillips, *Annales*, 4e, VIII, 239).

Dans d'autres cas, ce sont les conditions mêmes du gîte qui ne permettent qu'une très faible extension autour de chaque puits. Les gisements d'ozokérite, qui donnent lieu à

Digitized by Google

395 — *Emplacement des puits.* — Le nombre des puits n'est pas le seul élément à considérer. L'emplacement de chacun d'eux doit être attentivement discuté. Il conviendra, pour cela, de s'attacher beaucoup plus aux conditions de l'intérieur qu'à celles de la surface, considération souvent trop négligée en Angleterre par exemple.

Ces dernières ne sont cependant pas à méconnaître. Il est essentiel de se mettre à portée du réseau des grandes voies de communication de la contrée : routes, canaux, chemins de fer; et dans des conditions avantageuses de raccordement avec les tronçons de voie ferrée, ou les rivages d'embarquement que l'on aura besoin de construire.

Il faut ménager, à portée des puits, les emplacements nécessaires à la formation de haldes de déblais, ou dans le cas inverse, à l'ouverture de carrières de remblai.

On doit se procurer des eaux de nature convenable pour les chaudières à vapeur; celles de la mine étant ordinairement impropres à l'alimentation de ces générateurs dont elles attaqueraient le métal par leur réaction acide, en y déterminant en outre des dépôts abondants.

Les exploitants ont à se conformer aux dispositions législatives, qui exigent des distances déterminées entre le plâtre des puits et les propriétés habitées ou clôturées, sauf à obtenir l'agrément des propriétaires. Les conditions de ce consentement pourront parfois devenir tellement onéreuses, qu'elles influeront alors sur le choix de l'emplacement.

On évitera les terrains tourbeux, qui rendraient difficile d'asseoir les fondations des lourds édifices nécessaires à un siège d'extraction. Il en sera de même pour les fonds perméables et aquifères, propres à augmenter les suintements dans le puits.

En mettant ce dernier au mur d'un gîte incliné, on se donne

des mouvements irrésistibles et à des émanations très nuisibles, comptent leurs puits par milliers (Heurteau, *Annales*, 1871. — Rateau, *Ibidem*, 8°, XI, 147. — De Clercq, *Génie civil*, XXIV, 106). Ceux de Borislaw, dans les Carpathes, en présentent 15 000 pour une étendue de 77 hectares. Il y a évidemment, malgré les réelles difficultés où l'on se trouve, un excès intolérable dans de tels errements (Babu, *Annales*, 8°, XIV, 170. — Syroczinski, *Rev. univ. d. m.*, 1885).

Digitized by Google

de meilleures chances de conservation que dans le toit, que l'on doit s'attendre à voir jouer en raison de l'exploitation même. Cependant, un emplacement situé à la fois dans le toit et le mur, en traversant le filon à mi-hauteur, diminuera notablement le développement des travers-bancs qui, partant des divers accrochages, vont rejoindre le gisement.

396 — La situation de l'emplacement des divers puits de service a pour résultat de déterminer le *champ d'exploitation* de chacun d'eux. Pour la délimitation de cet élément essentiel, on tient naturellement le plus grand compte des accidents géologiques, tels que failles, rejets, colonnes de richesse ou zones d'appauvrissement.

A défaut de motifs spéciaux, sa configuration sera fixée par les nécessités du roulage, qui procède en général à l'aide de voies horizontales et de plans inclinés disposés suivant les lignes de plus grande pente. Les champs d'exploitation seront donc, en principe, des rectangles limités par des lignes de direction et d'inclinaison.

Leur étendue dans ces deux sens est ordinairement beaucoup plus restreinte pour la France, dont les gisements sont très accidentés, qu'en Angleterre et en Westphalie, où l'on voit des couches bien réglées se poursuivre sur d'immenses étendues. On atteint à cet égard, de l'autre côté de la Manche, des chiffres gigantesques. Comme limites excessives, je citerai, en ce qui concerne l'étendue en direction, un développement total de 4000 mètres d'un seul côté du puits, ou encore 2400 mètres de chaque côté. Suivant l'inclinaison, l'on a réalisé le chiffre de 1750 mètres en amont-pendage, et de 3600 mètres en aval-pendage. Ces derniers résultats sont encore plus anormaux dans une telle situation que des valeurs égales qui seraient comptées en direction. La grande diffusion des tractions mécaniques en Angleterre explique de pareils excès.

Sur le continent, l'étendue des champs d'exploitation est beaucoup moindre, et se chiffre en général par quelques centaines de mètres, mille au plus, de chaque côté du puits. Il est important de remarquer que la durée de ces aménagements s'accroît avec leurs dimensions, et qu'ils peuvent ainsi devenir d'un entretien extrêmement onéreux. La nature du roulage que l'on compte adopter pour

Digitized by Google

l'exploitation : par gamins, par hommes, par chevaux, par locomotives, ou par traction mécanique, influe également d'une manière directe sur la question. Lorsque le toit donne, ou que la sole gonfle, l'étendue doit encore diminuer pour éviter des travaux d'entretien très coûteux.

§ 2

DIVISION EN ÉTAGES

397 — *Détermination des étages.* — On a soin d'établir dans le puits un certain nombre d'*accrochages* intermédiaires, indépendamment de l'envoyage du fond. Chacun d'eux se trouve relié au gîte par un *travers-bancs*, qui constitue l'artère de son activité. Si l'on conduit par la pensée des plans horizontaux [1] à partir de chacune de ces recettes, on divise le gîte en autant d'*étages*. Chacun d'eux est caractérisé par sa *voie de fond*, qui le dessert suivant son horizontale inférieure, pour aboutir au travers-bancs, et de là au puits. On désigne habituellement les étages, soit par des noms propres, soit par un numéro d'ordre, assez souvent par le chiffre de la profondeur au-dessous de la surface, ou plus rarement par la cote d'altitude à partir du niveau de la mer.

Ces divisions forment l'élément le plus essentiel de l'aménagement. On définit l'importance de chacune d'elles, soit par sa *hauteur* verticale, soit par sa *relevée* estimée suivant l'inclinaison. Il est très essentiel, dans la description d'une mine, d'éviter toute ambiguïté à cet égard pour l'interprétation des chiffres.

Les hauteurs d'étages sont extrêmement variables. Elles peuvent s'abaisser à 10 ou 15 mètres, de même qu'elles s'élèvent à 50, et presque à 100 mètres, dans les bassins occidentaux de l'Allemagne.

Il ne faut cependant pas d'excès à cet égard. Une fois que l'on a coupé une masse au pied, il est important de l'enlever aussi rapi-

[1] Dans des cas très rares, les plans qui limitent les étages sont normaux à la stratification, comme à Cransac (couche de la Bifurcation); ou verticaux, comme dans l'ancienne méthode de Beaubrun (puits Montmartre) (N° 527).

Digitized by Google

dement que possible, avant que l'incendie s'y développe quand le combustible y est prédisposé. Dans tous les cas, le combustible se fendille par une trop longue durée du déhouillement, et n'offre plus assez de solidité pour l'emploi des méthodes avec lesquelles il est appelé à se tenir en couronne. D'après certains modes d'exploitation, le charbon descend dans des cheminées. Il se détériorerait alors complètement, si elles avaient une trop grande hauteur. En outre, comme pour un pendage donné une plus grande hauteur correspond à une plus grande étendue en inclinaison, les plans inclinés prendraient un développement excessif, et leur service présenterait beaucoup de complication.

Il ne faut pas non plus d'excès contraire, ni d'étages trop bas. On y trouverait d'abord un surcroît de dépense, pour l'installation d'un aussi grand nombre de recettes et de voies de fond. En outre, on se verrait plus fréquemment amené à prendre une dernière tranche sous les travaux de l'étage supérieur, ce qui présente généralement certaines difficultés.

398 — On parvient à concilier ces exigences opposées, en adoptant deux degrés successifs de division pour le gîte. D'abord de grands étages caractérisés, comme nous l'avons dit, par une recette, un travers-bancs, une voie de fond. Sur cette dernière descendent des *plans inclinés*, qui servent d'artères aux divers *quartiers* ou *districts*, dans lesquels on décompose, suivant la direction, le champ d'exploitation. A partir de chaque plan incliné se développent des *costresses*, qui divisent ce quartier, suivant l'inclinaison, en *sous-étages* d'une hauteur beaucoup moindre.

Ces galeries, parcourues par des rouleurs, ou herscheurs, sont moins importantes, moins coûteuses, moins durables, que les voies de fond destinées aux chevaux. Leur desserte au moyen de plans inclinés occasionne des frais et des complications moindres que ne le ferait un nombre égal de recettes supplémentaires, établies dans le puits pour chacune de ces costresses si l'on transformait par là en étages les sous-étages précédents. A quoi nous devons ajouter que, par une telle multiplication, le service du puits deviendrait impraticable.

Digitized by Google

399 — On profite utilement, dans certains cas, pour activer la préparation d'un étage et le percement de sa voie de fond, de l'existence de celle de l'étage supérieur. On fait alors partir de celle-ci, dans la couche, des descenderies jusqu'au pied du nouvel étage, où l'on installe deux chantiers chassants, dont les équipes avancent en se tournant réciproquement le dos. On reconnaîtra là un artifice identique à celui qui permet, en vue de réaliser une plus grande rapidité, d'attaquer en plusieurs points à la fois le percement d'un tunnel à l'aide de puits (N° 323), ou un foncement sous stot au moyen de galeries (N° 351, 4°). Ces descenderies elles-mêmes pourront être immédiatement utilisées pour l'aménagement de l'étage, et sa répartition en quartiers distincts.

400 — Lorsque la formation comprend, non plus une seule couche, ainsi que nous le supposions implicitement dans les expli-

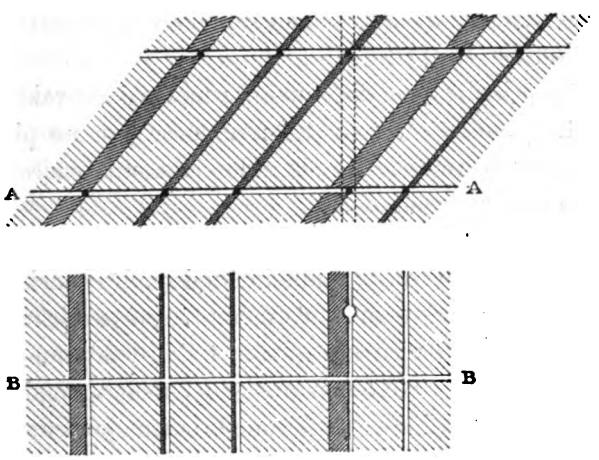


Fig. 282 et 283. — Aménagement d'un faisceau de couches inclinées (coupes verticale et horizontale).

cations précédentes, mais un certain nombre de veines parallèles, (fig. 282, 283), on les recoupe à partir de chaque accrochage, par un double travers-bancs, qui s'éloigne du puits dans deux sens opposés, suivant la perpendiculaire à la direction de la stratification, et aborde les couches successives les unes par le toit.

Digitized by Google

les autres par le mur. Dans chacune d'elles on installe une galerie de direction, qui forme la *base d'exploitation de l'étage pour cette couche*. et à l'aide de laquelle on opère comme ci-dessus.

Dans le bassin de la Sarre, on n'ouvre pas, à partir du travers-bancs, de mère-galerie en direction dans toutes les veines indistinctement, comme pour le cas précédent, mais seulement dans celles qui sont privilégiées sous le rapport du charbon et des terrains encaissants, et dont on peut attendre, pour ces ouvrages, les meilleures conditions de durée. Chacune de ces galeries forme alors la *base d'exploitation de l'étage pour le faisceau des couches adjacentes*, en même temps que pour celle dans laquelle elle est pratiquée. On y rattache à cet effet ces diverses veines, au moyen de *travers-bancs secondaires*, branchés tous les 200 ou 300 mètres sur cette galerie-maîtresse. Ces travers-bancs déterminent, par leur rencontre avec les couches en question, des quartiers correspondants dans chacune d'elles. Les districts y sont d'ailleurs desservis, comme à l'ordinaire, à l'aide de plans inclinés et de costresses, qui les subdivisent en sous-étages.

Ces divers principes, en diminuant le nombre des voies de fond. qui sont très coûteuses, pour les remplacer par un plus grand développement de voies moins durables et moins onéreuses, réalisent une certaine économie.

401 — En Angleterre, la faible inclinaison des couches conduit à un système d'aménagement tout différent. Après avoir recoupé une veine par le puits, on n'en sort plus, et l'on y développe entièrement le réseau de travaux, sans presque jamais s'étendre dans le rocher. Lorsqu'une mine de la Grande-Bretagne présente plusieurs étages, ils correspondent à peu près constamment à des superpositions de couches parallèles; chacune d'elles constituant en quelque sorte une mine à part. Il va sans dire, cependant, que l'on ne se refuse pas absolument à chercher dans cette coordination quelques secours au point de vue de l'aérage.

402 — *Ordre d'exploitation des étages.* — Lorsque le nombre des étages a été fixé dans chaque cas, il y a lieu de régler l'ordre

Digitized by Google

suivant lequel ils seront exploités successivement. On peut employer à cet égard le *mode ascendant* ou le *mode descendant*.

Divers motifs peuvent porter à prendre les étages de bas en haut. La surface du sol est moins disloquée par l'exploitation des grandes profondeurs, que par celle des parties plus rapprochées. On retardera donc par là les payements d'indemnités aux propriétaires de la superficie, ainsi que l'introduction des eaux de surface dans la mine par les fissures du terrain.

Les étages du fond, une fois terminés, pourront être noyés et disparaîtront de l'exploitation, tandis que les vieux travaux, quand on les a au-dessus de soi, occasionnent des inconvénients sérieux.

Mais des raisons opposées font, en général, prévaloir l'ordre descendant.

Il est en effet plus difficile de connaître le fond que la partie supérieure, et de s'y développer de suite en connaissance de cause.

En outre cette locution, de *fond*, n'a souvent qu'une valeur relative. Le développement progressif de l'art des mines permet aujourd'hui d'attaquer économiquement des profondeurs qui étaient inabordables pour les anciens, et nous devons prévoir pour nos successeurs une semblable progression.

L'exploitation profonde étant naturellement plus onéreuse que celle des zones plus rapprochées de la surface, le mode ascendant aurait comme effet de grever immédiatement la production d'une surcharge qu'il est préférable d'éviter.

Il faut enfin remarquer qu'en enlevant la base avant les parties supérieures, on tend à fatiguer ces dernières, et à les retrouver plus tard compromises, ou du moins plus difficiles à prendre; tandis que le dépècement des horizons supérieurs n'affecte nullement la partie subordonnée.

403 — Il importe du reste de bien remarquer que cette expression, d'ordre ascendant ou descendant, ne signifie nullement que l'on doive attendre, pour attaquer un étage, que le précédent soit entièrement dépecé; ce qui serait ordinairement impraticable. On ne désigne par là que la succession de l'exploitation des divers étages le long d'une même verticale. Nous avons eu soin de dire

Digitized by Google

(N° 392) que les travaux préparatoires doivent marcher de pair, dans une juste mesure, avec ceux d'exploitation. Il n'y a pas lieu sous ce rapport de poser des règles absolues; tout dépendra des circonstances. On peut cependant très convenablement se représenter, pour fixer les idées, un groupe de trois étages, dont l'un se trouve en pleine exploitation, tandis que le précédent est en voie de terminaison, et le suivant dans la période de préparation.

§ 3

DIVISION EN TRANCHES ET EN LOPINS

404 — Les grandes divisions qui viennent d'être esquissées sont encore trop étendues pour fournir une base qui soit en rapport suffisamment direct avec l'installation des chantiers. Il est clair en même temps que l'on ne saurait parvenir à la réduction nécessaire en diminuant homothétiquement leur importance, car ces fractions du gîte sont caractérisées par des organes de forme déterminée, et dont nous avons en outre discuté le nombre. Un nouveau mode de subdivision, superposé au précédent, s'impose donc comme une dernière nécessité. Il faut, à cet égard, distinguer dans le chantier ce qui concerne le sens vertical ou le sens horizontal.

L'épaisseur verticale que l'on peut prendre d'un même coup, au-dessus d'une étendue horizontale quelconque, ne saurait franchir certaines limites. On l'a poussée, dans des cas assez fréquents, jusqu'à 5 mètres, et, très exceptionnellement, à 10, 12 et même 15 mètres, mais pour des conditions absolument spéciales, et au prix de dangers qui doivent faire répudier de pareils errements. En thèse générale, il convient de se restreindre à une hauteur de chantier mieux en rapport avec la taille de l'homme, et les dimensions ordinaires des bois de soutènement. On peut admettre, pour fixer les idées, un type de deux mètres, l'abaisser un peu quand il le faudra, et ne pas craindre inversement de le porter au besoin jusqu'au double. On y parvient en divisant la masse en *tranches*

Digitized by Google

superposées, au moyen de plans qui peuvent être, soit horizontaux, soit parallèles à la stratification.

405 — Quant à l'étendue du champ d'exploitation ou du district, on l'embrasse parfois d'un seul coup dans chaque tranche par les méthodes dites *de grandes tailles*, lorsque le gisement présente une homogénéité et une régularité suffisantes. Mais, dans les autres cas, on y établit un *traçage* à mailles plus ou moins serrées, au moyen d'un réseau formé de galeries menées en direction, et de montages conduits suivant l'inclinaison (1). On partage ainsi la tranche en rectangles, qui prennent le nom de *lopins*, *piliers* ou *massifs*. Chacun d'eux constitue alors l'unité définitive, ainsi limitée d'une manière rationnelle dans toutes ses dimensions, et sur laquelle on pratiquera ensuite l'opération du *dépilage*, en la prenant pour théâtre des opérations d'un *chantier* (2).

406 — Ces traçages fondamentaux, destinés à embrasser dans toutes ses parties un champ d'exploitation, s'exécutent la plupart du temps en France à l'aide de *galeries simples*, en raison de leurs dimensions plus réduites. En Angleterre, où l'on s'étend à de grandes distances, on est dans l'habitude constante et très judicieuse de les conduire par *voies jumelles*, doubles, et parfois même triples, situées à une distance de 20 ou 30 mètres l'une de l'autre (3).

Ces deux galeries, ainsi menées parallèlement et de conserve, s'aèrent mutuellement pendant le percement, au moyen de recoupes successives, conduites de l'une à l'autre tous les 30 à 50 mètres. Lorsqu'on vient d'ouvrir une nouvelle recoupe, on a soin de boucher la précédente par des murs bien jointoyés et pénétrant des

(1) Nous faisons en ce moment, pour simplifier, abstraction des traçages en demi-pente (N° 457).

(2) On doit se tenir en garde contre l'abus de la tendance à prendre des chantiers un peu en désordre, d'après les variations commerciales qui réclament avec plus ou moins d'abondance telle ou telle sorte de produits.

(3) Cette pratique est du reste fort ancienne, car Délius, qui en énonce le principe, en cite en même temps un exemple de plus de trois kilomètres de longueur (*Instruction sur l'art des mines*, 1773, traduction de Schreiber, tome I, p. 268).

Digitized by Google

deux côtés dans le massif. Elles sont ainsi, à chaque instant, toutes fermées à l'exception de la dernière. Le courant d'air qui arrive par l'une des voies, passe par cette traverse et revient par la galerie conjuguée. Quant aux tronçons d'avancement qui se trouvent situés au delà de cette recoupe, ou aux galeries simples du premier mode, on les aère par des moyens spéciaux dont il sera question en temps et lieu.

§ 4

GÉNÉRALITES SUR LES MÉTHODES D'EXPLOITATION

407 — *Qualités du gîte.* — C'est dans l'agencement général des tranches et des massifs, et dans leur mode de déhouillement, que consiste essentiellement la méthode d'exploitation. Il faut s'y préoccuper de toutes les particularités qui caractérisent le gisement, et notamment de quatre points principaux : la puissance, l'inclinaison, la solidité, la constance de richesse.

En ce qui concerne la *puissance*, on peut rencontrer les variations les plus extrêmes. En même temps que certaines veinules de tellure natif d'Offenbanya (Transylvanie) ne présentent que l'épaisseur d'une feuille de papier [1], quelques filons du Hartz atteignent par places 60 mètres de puissance, le minerai de fer de Kirunnavara (Norrbothnie, Suède) 230 mètres, le grand filon de Comstock 300 mètres, le filon du Nord à Rio-Tinto jusqu'à 500 mètres.

Il convient de distinguer à cet égard deux catégories fondamentales : les *gîtes minces* et les *gîtes puissants*. La limite qui sépare ces deux classes manque nécessairement de précision. On peut, au point de vue de l'appropriation des méthodes d'exploitation, la confondre avec celle que nous avons appelée hauteur de chantier : deux mètres en général. L'épithète de gîte mince est souvent cependant employée d'une manière plus restrictive encore, pour désigner les gisements dont le peu de puissance devient définitivement un obstacle pour l'organisation du travail, oblige à entailler le toit ou le mur, et finit même par rendre la masse inexploitable, à

[1] De Lapparent, *Traité de Géologie*, 1168.

Digitized by Google

moins que cette circonstance ne soit rachetée par une valeur intrinsèque suffisante pour compenser les sacrifices nécessaires. Il est rare, par exemple, qu'une couche de combustible puisse être utilement exploitée au-dessous de $0^m,40$ ou même $0^m,50$ d'épaisseur. Souvent on renonce à des veines plus importantes encore, si la profondeur, les venues d'eau, le manque de solidité, de régularité ou de pureté, le grisou, l'inflammabilité, viennent en outre compliquer les conditions du travail.

408 — L'*inclinaison* est également un élément de première importance. Elle change du tout au tout les conditions du chantier. En plateure mince, on a la sole sur le mur et le toit pour plafond; les parois sont formées par le massif, le remblai ou l'éboulement. Dans un dressant mince, au contraire, on a la sole sur le massif ou sur le remblai; le plafond est formé par le massif, l'éboulement, parfois le remblai; les parois sont les épontes du gîte.

L'influence géométrique du plongement se complique encore d'une autre circonstance : le plus ou moins d'adhérence des bancs les uns pour les autres. Quelquefois le mur d'une couche de houille est formé d'un schiste poli comme la glace. De même, certains filons sont séparés de la roche par des salbandes argileuses et détrempées, qui constituent une véritable lubrification. On doit alors redouter le glissement des masses recoupées au pied [1], et cette préoccupation influera dans l'institution de la méthode.

409 — La *solidité* du minerai entre aussi en ligne de compte. S'il s'agit, par exemple, d'abandonner systématiquement des massifs pour soutenir le toit, un certain degré de consistance leur est évidemment indispensable. Si des piliers, momentanément réservés pendant le traçage, doivent être repris en dépilage, on les retrouvera fatigués, susceptibles de donner une plus grande proportion de menu dans l'abatage, et même de le rendre dangereux, si la méthode adoptée ne leur attribue pas des dimensions en rapport

[1] On sait que ces mouvements se sont souvent effectués pour des montagnes entières, glissant sur des plans inclinés formés d'argile détrempée, désorganisant complètement la surface, et même engloutissant des villages.

Digitized by Google

avec leur degré de cohésion. Le clivage des roches, la feuille du charbon, influeront encore très directement, dans cet ordre d'idées, sur la direction à donner aux fronts de taille.

La solidité du toit présente une importance non moins grande. Elle règle la tenue du plafond au-dessus d'espaces vides plus ou moins étendus, ainsi que la manière dont il effectuera sa tombée, en exposant par son insuffisance à compromettre la sûreté des hommes, à perdre du minerai sous l'éboulement, ou à salir le charbon en y mêlant des pierres.

410 — La *constance de la richesse*, ou sa dissémination plus ou moins irrégulière, imprimeront à la méthode un caractère d'uniformité ou de variabilité dans la succession des chantiers. Cette considération n'a en général qu'une valeur secondaire pour les houillères, si l'on excepte toutefois les formations *en chapelet*, dans lesquelles les oscillations de la puissance viennent exercer une influence équivalente à celle de la teneur des filons. Celle-ci, au contraire, joue un rôle essentiel avec les gîtes métalliques, et oblige, comme nous l'avons dit (N° 42, dernière note), à faire dans ces exploitations une part, ordinairement assez large, aux travaux de recherche.

411 — L'idéal des conditions à remplir par un gisement pourrait, d'après ce qui précède, se formuler à peu près de la manière suivante : une puissance restreinte, comprise entre 1 mètre et 3 mètres [1]; une inclinaison très modérée; le toit et le mur bien réglés, sans accidents, solides, nettement détachés du combustible, sans cependant exposer au glissement; le charbon assez résistant lui-même, non grisouteux, ni sujet à l'inflammation spontanée.

La manière dont ce programme se trouve réalisé dans la presque totalité de l'Angleterre et dans la Westphalie, crée à ces régions

[1] C'est une erreur ordinaire des personnes inexpérimentées d'admirer les énormes puissances dont notre pays (principalement l'Aveyron) offre de nombreux exemples. Une somme égale d'épaisseurs, fournie par des couches distinctes et de puissance moyenne, placera au contraire l'exploitation dans des conditions beaucoup plus avantageuses.

Digitized by Google

une énorme supériorité économique; tandis que les conditions opposées de nos bassins bouleversés, ou des formations belges, imposent aux ingénieurs des deux pays un perfectionnement incessant de leurs moyens d'action, pour pouvoir soutenir la lutte commerciale.

En Angleterre, les couches présentent une tenue admirable; les puissances sont comprises entre $0^m,60$ et $3^m,00$. On exploite rarement au-dessous de 1 mètre. La couche du Ten-yards-coal (Stafforshire) fait seule exception par sa grande puissance (N° 432). L'inclinaison est toujours très faible, de 2 ou 3 centimètres par mètre, ne dépassant presque jamais 15 à 20 centimètres. Les terrains encaissants sont d'une solidité exceptionnelle. Le toit se tient parfois seul jusqu'à 50 mètres du front de taille. Sous ce rapport, il y a plutôt excès, en ce que la chute s'opère alors sur d'énormes étendues, en occasionnant de brusques déplacements d'air. Les failles elles-mêmes présentent une certaine régularité, et servent à sectionner le gîte, sans gêner considérablement l'exploitation.

412 — *Qualités de la méthode.* — Lorsque les conditions de l'idéal précédent sont loin d'être remplies, c'est à l'organisation intelligente de la méthode d'exploitation qu'il appartient de remédier à ces défauts. Nous pouvons également donner une sorte de formule des principaux desiderata dont on s'y doit préoccuper : sûreté du personnel, économie du prix de revient, bon aménagement du gîte. Mais ces trois termes essentiels se subdivisent eux-mêmes en un certain nombre de points de vue distincts.

En ce qui concerne l'*abatage*, on doit éviter les chantiers étriqués et donner aux tailles toute l'ampleur compatible avec le degré de solidité de la masse, afin que les mineurs travaillent à l'aise, et puissent mieux développer leurs moyens d'action. Le *rendement du piqueur* en minerai abattu s'en ressent très directement. Pour ce même motif, on fera prédominer, dans la mesure du possible, la période du dépilage en réduisant d'autant celle du traçage, dans laquelle l'ouvrier se trouve forcément plus à l'étroit.

Il est désirable que le front de taille puisse être disposé en

Digitized by Google

gradins, afin de dégager la roche sur un plus grand nombre de faces. On devra le conduire dans une telle direction que le mineur puisse utiliser pour la séparation des blocs, sous l'influence des outils ou des coups de mine, la feuille du charbon ou les clivages du minerai. La tombée du toit, en arrière de l'avancement, devra être réglée de manière à éviter que le combustible se trouve perdu ou mélangé de substances étrangères.

413 — La question du *boisage* oblige à n'avoir que des vides assez restreints pour ne pas employer de bois exceptionnels. On multiplie les buttes, de manière à être assuré contre les éboulements imprévus, sans trop retarder l'affaissement du toit des tailles. On devra réglementer le développement, et par suite la durée des chantiers, de manière à ne pas dépasser pour les boisages la limite de leur existence sans réparations fondamentales. Il faudra leur ménager, par l'organisation des travaux, une base ferme, afin que les montants n'aient pas de tendance à s'y enfoncer sous la pression qu'ils supportent.

414 — Au point de vue du *roulage*, il conviendra d'en développer l'activité sur un réseau aussi restreint que possible, pour diminuer les frais d'entretien auxquels il donne lieu, tout en facilitant la surveillance et la coordination des mouvements. Il faut cependant éviter soigneusement à cet égard un excès qui produirait l'encombrement, et, comme conséquence, l'arrêt fréquent des trains dans toutes les gares, en mettant les piqueurs dans l'impossibilité de reculer leur charbon. On s'efforcera de développer le parcours des chevaux sur les grandes distances, en restreignant celui des herscheurs, qui reste cependant inévitable en général entre les tailles et les galeries principales.

415 — En ce qui concerne le *grisou*, il faut boucher immédiatement tous les vides qui se trouvent en dehors de la ventilation, et disposer les fronts de taille, de manière qu'ils puissent être léchés exactement par le courant. Il convient de terminer le plus vite possible tout quartier commencé, et d'isoler les districts aban-

Digitized by Google

donnés, pour se défendre contre leurs émanations. On doit concentrer autant que possible les ouvriers dans un espace modéré, afin de faciliter la surveillance et l'aérage, et de diminuer la durée de l'entretien des ouvrages; mais il est essentiel de ne pas aller, sous ce rapport, jusqu'à l'agglomération de tout le personnel sur un même point. Il faut au contraire le répartir en un certain nombre de chantiers, suffisamment distants les uns des autres pour soustraire aux conséquences des coups de feu qui ne sont pas irrésistibles les hommes éloignés du théâtre immédiat de l'accident.

416 — Quand on exploite des *charbons inflammables*, il importe de n'en abandonner aucune partie dans les remblais ou les éboulements, surtout à l'état de menu très divisé, pour lequel le rapport des surfaces oxydantes à la masse à oxyder se trouve poussé plus loin. Il faut également attaquer sur une étendue assez faible, afin que l'on puisse monter vivement jusqu'au faîte de la pile dont elle forme la base, avant que les mouvements produits par cette exploitation aient eu le temps d'échauffer le combustible et de déterminer son inflammation.

417 — *Les trois principes fondamentaux.* — Mais il est temps que ces généralités arrivent à prendre un corps, de manière à permettre de constituer les méthodes effectives d'exploitation. Elles reposent toutes, quand on les réduit à leur dernière expression, sur un très petit nombre de principes fondamentaux.

Un gisement peut, suivant les circonstances, être attaqué de deux manières différentes : à ciel ouvert ou souterrainement :

EXPLOITATION MINÉRALE { EXPLOITATION A CIEL OUVERT,
EXPLOITATION SOUTERRAINE.

Nous nous occuperons en premier lieu des travaux souterrains, pour continuer à rester dans le même ordre d'idées que précédemment. Les exploitations à ciel ouvert feront ensuite l'objet du chapitre XXIII.

Digitized by Google

Les méthodes souterraines reposent toutes sur l'un de ces trois principes fondamentaux :

Exploitation souterraine { Principe de l'abandon, Principe du foudroyage, Principe du remblayage.

Avec le *principe de l'abandon de massifs*, on ne pratique dans le gîte que le degré de vide que permet sa solidité, et l'on conserve sous le toit des masses assez importantes pour assurer son soutien. Ces piliers sont définitivement abandonnés, et constituent pour la méthode une perte pure et simple.

Avec le *principe du foudroyage du toit*, on évite cette perte en renonçant nettement au but en vue duquel on l'avait acceptée, à savoir : la conservation du vide. On laisse donc tomber le toit, après avoir toutefois pris les mesures nécessaires pour que ce ne soit qu'après l'enlèvement du minerai, et en sauvegardant la sécurité du personnel.

Avec le *principe du remblayage des chantiers*, on cherche à remédier à deux défauts évidents de cette dernière solution : le danger pour les hommes d'être pris sous un éboulement prématuré, et l'inconvénient de perdre encore, en réalité, une certaine portion du minerai, qu'il serait souvent impossible ou trop périlleux de retirer. On revient donc à la donnée primitive de la conservation du toit, mais avec des soutiens autres que le massif lui-même, c'est-à-dire en y employant des matières stériles, qui prennent le nom de remblai, et à l'aide desquelles on comble le vide des tailles.

Ces trois *principes* irréductibles, qui ne sauraient évidemment rentrer l'un dans l'autre, servent chacun de base à un certain nombre de *méthodes* distinctes, dont la description va nous occuper dans les chapitres suivants.

Digitized by Google

CHAPITRE XVI

ABANDON DE MASSIFS

—

§ 1

MÉTHODES DES PILIERS, DES CLOISONS, DES ESTAUS

418 — *Généralités.* — Le principe de l'abandon pur et simple d'une fraction importante du gîte doit rester limité à des matières de peu de valeur, incapables de rémunérer les frais accessoires qu'occasionnerait l'application plus onéreuse du foudroyage ou du remblayage pour l'enlèvement des parties délaissées.

Ce système d'exploitation se recommande, il est vrai, par sa simplicité. Elle est telle, en effet, qu'il a dû sans nul doute être seul suivi à l'origine de l'exploitation souterraine. Mais son application a été constamment en se restreignant depuis lors.

Ajoutons que l'abandon de massifs présente, sur les deux autres principes, l'avantage de respecter beaucoup plus nettement la superficie, en évitant le payement d'indemnités aux propriétaires du sol, et l'introduction des eaux de surface. Cette considération peut dans certains cas spéciaux devenir assez décisive pour imposer son choix, par exemple dans les exploitations sous-marines (N° 430).

Elle réclame également une intervention *partielle* de ce principe, pour les mines qui sont d'ailleurs exploitées dans leur ensemble par remblayage ou foudroyage, lorsqu'il s'agit en particulier d'assurer d'une manière absolue la conservation d'une portion spécialement importante de la surface : habitations, ouvrages d'art, voies de communication, cours d'eau, etc. On réserve alors au-dessous d'elle

Digitized by Google

une partie du gîte qui restera inattaquée, sous le nom de *massif de protection*, ou encore d'*investison*. On agit de même, au besoin, pour sauvegarder des organes essentiels de l'exploitation elle-même, tels que puits, chambres de machine, galeries d'écoulement, etc. Nous examinerons plus tard (N° 484) les règles qui doivent présider à la détermination attentive de ces réserves.

Le principe de l'abandon de massifs est mis en pratique d'après quatre méthodes distinctes d'exploitation, auxquelles nous donnerons les noms suivants[1] :

PRINCIPE DE L'ABANDON
- MÉTHODE DES PILIERS TOURNÉS ;
- MÉTHODE DES PILIERS LONGS ;
- MÉTHODE DES CLOISONS ;
- MÉTHODE DES ESTAUS.

419 — Supposons, en premier lieu, un gisement horizontal ou peu incliné, et dont la puissance ne soit pas trop disproportionnée avec sa solidité, de telle sorte que l'on puisse entreprendre de le dépecer d'un seul coup sur toute son épaisseur. Cette limite de hauteur est d'ailleurs absolument relative. Tandis que dans certains gîtes de consistance médiocre, une élévation de 5 ou 10 mètres constituerait déjà pour les chantiers un excès téméraire, on a pu pratiquer, dans les salines de Marmaros, des chambres de 147 mètres de hauteur. La méthode est alors dite *en une seule tranche*, mais elle peut s'appliquer de trois manières différentes.

Dans un premier cas, le plafond est soutenu par une série de massifs isolés les uns des autres, et les vides forment autour de chacun d'eux une ceinture continue. C'est la *méthode des piliers tournés*.

Dans un mode inverse, on pratique une série de vides isolés les uns des autres, appelés *chambres*, et c'est au contraire la masse minérale qui reste continue, à l'état de squelette servant à cloisonner ces chambres, pour les séparer les unes des autres. Ce sera la *méthode des cloisons*.

[1] Haton de la Goupillière, *Bulletin de la Société des Sciences naturelles de Nîmes*, juin 1883, 69.

Digitized by Google

On aperçoit entre ces deux systèmes la même différence que dans les constructions habituelles de la surface. Avec les conditions ordinaires, un ensemble continu de murailles supporte le plafond au-dessus de chambres distinctes, isolées les unes des autres. Pour une très grande salle, au contraire, ce plafond se trouve soutenu, au-dessus d'un vide continu, par une série de colonnes isolées. Dans le premier cas, il repose sur un réseau de *lignes* de soutènement, et dans le second sur un système de *points* isolés.

La *méthode des piliers longs* forme une sorte d'intermédiaire entre ces deux conceptions, et comme un passage de l'une à l'autre. Le pilier rectangulaire s'allonge indéfiniment suivant l'une de ses dimensions, et cloisonne alors, l'un par rapport à l'autre, les espaces situés sur ses deux faces. Mais il existe un nombre illimité de pareils piliers. Le plafond se trouve donc, dans ce cas, soutenu sur un ensemble de lignes, comme dans la méthode des cloisons; seulement elles ne forment plus un réseau continu dans toutes ses parties, mais un système de lignes détachées les unes des autres, comme le sont les appuis isolés dans la méthode des piliers tournés.

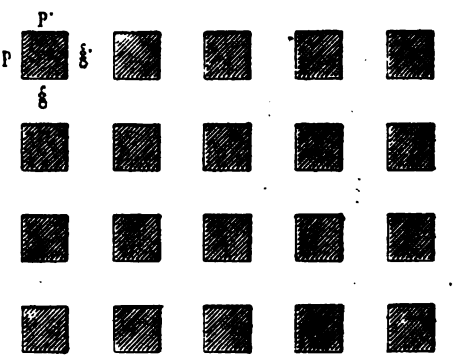


Fig. 284. — Piliers tournés.
Quadrillage à doubles voies (coupe horizontale).

420 — *Méthode des piliers tournés.* — Les piliers tournés affectent en principe la forme rectangulaire [1]. Si le gîte présente

[1] Une savante et très importante étude de l'inspecteur général des mines Tournaire permet de déterminer avec prudence leurs dimensions (*Annales*, 8e, V, 415).

On peut consulter également sur ce sujet la circulaire ministérielle du 10 juin 1886, rédigée à la suite de l'effondrement des carrières de Chancelade (Dordogne).

Je citerai également un autre travail de Tournaire sur la résistance du sel gemme aux efforts de compression, et les conséquences qui en résultent pour l'exploitation du sel en roche (*Annales*, 8e, VII, 356).

Digitized by Google

une pente appréciable, on établit leurs côtés suivant sa direction et son inclinaison. L'ensemble est quadrillé en forme de *damier* ou

Fig. 285. — Plan des mines de fer du Travers (Gard).

de *quinconce* (fig. 284, 285). Il présente pour le roulage deux systèmes de voies rectangulaires.

Digitized by Google

Dans certains gisements, le toit est traversé par de nombreuses fissures ou *filières*, sensiblement parallèles, qui lui enlèveraient toute solidité si elles devaient régner au-dessus d'un vide continu. On croise alors les piliers (fig. 286), en déjetant d'une case, sur le damier, leurs files de deux en deux. Il ne reste plus, dans ces conditions, qu'un seul système de voies que l'on dispose, autant que possible, perpendiculairement à la direction des filières.

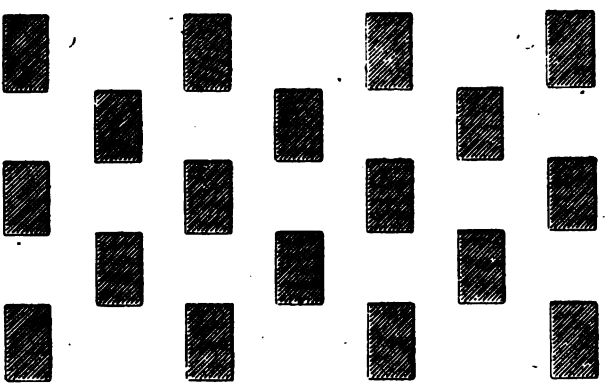


Fig. 286. — Piliers tournés. Quadrillage à simples voies (coupe horizontale).

Quand le gîte pèche par défaut de solidité, on trouve avantage à faire l'opération en deux fois. On embrasse tout le champ d'exploitation par un traçage à larges mailles, et pendant ce temps les massifs, de dimensions surabondantes, présentent toute sécurité. Puis on bat en retraite à partir des limites du champ, en refendant en quatre les lopins par deux galeries en croix, de manière à n'abandonner en définitive que des piliers réduits au strict nécessaire, mais dans des régions où l'on n'a plus ensuite à rentrer (1).

(1) Les exemples d'application de la méthode des piliers tournés sont innombrables. Je citerai notamment : quelques carrières de haute et basse masse, de calcaire ou de gypse, dans les environs de Paris ; les mines domaniales de lignite de Brux (Bohême) ; celles de Rudiay, près Bilin (Bohême) ; la Grand'mine à Valdonne (*CRM*, 1892, 192), et les exploitations de Trets (Bouches-du-Rhône), avant la transformation qu'elles ont subie ; l'ancienne méthode liégeoise, un essai du même genre dans les charbonnages de Königsgrube (Silésie); la méthode *des larges galeries* très usitée autrefois dans le Yorkshire et le Lancashire, le Ten-Yards-Coal du Stafforshire (N° 432), les exploita-

Digitized by Google

421 — *Méthode des piliers longs.* — Les massifs longs sont disposés suivant la direction du gîte, de manière à laisser entre eux des galeries horizontales pour le roulage. Quelquefois, cependant, comme dans le wicket-system (N° 431), ils sont dirigés suivant l'inclinaison [1].

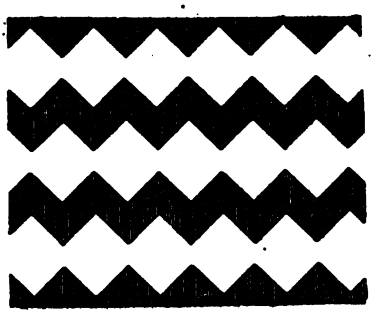


Fig. 287. — Piliers longs en décrochements (coupe horizontale).

Dans les ardoisières de Rimogne (Ardennes) (N° 429), la cloison, au lieu d'être rectiligne, affecte une forme dentelée en décrochements (fig. 287), propre à donner au pilier plus de maintien; de même que la tôle ondulée présente plus de raide que la tôle plane.

422 — *Méthode des cloisons.* — On adopte en général dans les chambres souterraines, pour plus de simplicité et de solidité, le type du cylindre de révolution surmonté d'une coupole. La forme ronde peut également s'ovaliser, pour tenir compte de la direction du gîte, ou de différences de consistance dans les divers sens. Cette méthode comporte

tions de calcaires bitumineux de Seyssel (Ain) et du Champ-des-Pois (Puy-de-Dôme); celles de schistes bitumineux à Bussière-la-Grue (Allier); les salines de Varangéville, de Dieuze, de Northwich, de Wieliczka (N° 435); la mine de glaubérite de Cien-Pozzuelos (Espagne); celles de pyrite cuivreuse de Tharsis et de Rio-Tinto; les mines de fer oxydé de Saint-Rémy-sur-Orne, de Beauregard (Côte-d'Or), celles du Travers (Gard) (*Bull. min.*, 2e, XIII), représentées par la figure 285; les exploitations de fer protosilicaté dans la Sierra de Carthagène, de grès imprégnés de galène à Commern (pays de Siegen); les mines de plomb d'Offenbanya et de Rodnau (Hongrie), celles de cuivre de Roraas (Norwège), ainsi que les exploitations de ciment de Voreppe (Isère).

[1] La méthode des piliers longs se rencontre, par exemple, dans les ardoisières de Fumay (Ardennes) et celles de Festiniog (North-Wales) où certains piliers ont plus de 500 mètres de longueur; les mines d'anthracite de Pennsylvanie (N° 434), la houillère de la Manufacture (Saint-Étienne) en raison de motifs réglementaires de soutènement de la surface; les mines de bitume de Malintrat (Puy-de-Dôme); la mine de fer sous-marine de Diélette (Manche), celle de Mondalazac (Aveyron), du moins pendant la période de traçage, de même que celle de Mazenay (Saône-et-Loire), qui est dépilée avec des piliers tournés. Il est, en effet, à noter qu'avec ces deux dispositifs, les massifs peuvent être seulement *réservés à titre temporaire*, sauf à devenir, à une époque éloignée, l'objet d'un dépilage suivi de foudroyage au lieu d'être *abandonnés sans retour*. Au contraire, cette circonstance ne saurait se présenter avec les méthodes des cloisons et des estaus, qui restent absolument spéciales au principe de l'abandon.

Digitized by Google

deux variantes. Dans l'une, les chambres sont isolées les unes des autres, et l'on descend dans chacune d'elles par un puits distinct. Ces cavités sont foncées en gradins droits. Avec la seconde, on procède par cheminements horizontaux, en les épanouissant en forme de chambre, que l'on ouvre en montant en gradins renversés, sur les points où la teneur paraît devoir être rémunératrice[1].

La méthode des cloisons peut offrir des avantages au point de vue des eaux; soit que l'on redoute leur invasion du dehors, car alors un coup d'eau qui fait irruption dans une chambre ne compromet que ce chantier, sans atteindre nécessairement les autres; soit que l'on veuille précisément maintenir le liquide dans cette capacité, pour y utiliser son pouvoir dissolvant, comme à Hallstadt (N° 439), ou à Bex (N° 149). En revanche, elle serait nettement contre-indiquée au point de vue du mauvais air, attendu que, si chaque capacité était isolée, l'on ne saurait établir de ventilation d'ensemble; et que, dans le cas de cheminements intermédiaires, les énormes épanouissements qu'éprouverait le courant en débouchant dans les chambres y rendraient sa vitesse illusoire.

Elle présente en principe, quand son réseau est homogène, plus de solidité que la méthode des piliers longs; mais, en revanche, à défaut de plans soignés, elle expose à beaucoup plus d'inconnues, qui obligent à scruter avec la sonde l'épaisseur des cloisons.

423 — *Méthode des estaus.* — Lorsque la hauteur exploitable du gîte est hors de proportion avec celle qu'il serait prudent de donner au chantier, on la fractionne en étages, séparés les uns des autres par des tranches horizontales abandonnées, qui portent le nom de *stots* ou *estaus* (fig. 288). Ce système se distinguera du groupe des trois premières méthodes, dites *en une seule tranche*,

[1] On trouve des exemples de la première variante dans les ardoisières d'Angers (N° 428), les grès de Blankenstein (Saxe royale), l'exploitation des houillères de Belmez (Espagne) dans la première moitié de ce siècle, la méthode *des bouteilles* des salines de Marmaros (N° 437), les mines de plomb argentifère des sierras de Gador et d'Almagrera vers 1825.

La seconde variante est représentée par la mine d'étain d'Altenberg (N° 441), les salines de Bocknia (Pologne), les soufrières de Sicile (Ledoux, *Annales*, 7e, VII, 1), les mines de fer de Büchenberg (Hartz).

Digitized by Google

sous le nom de *méthode des estaus*. Il s'applique, soit pour des gisements horizontaux ou peu inclinés et d'une grande puissance verticale, soit dans des gîtes très redressés et d'une traversée horizontale suffisante pour offrir l'espace nécessaire au développement

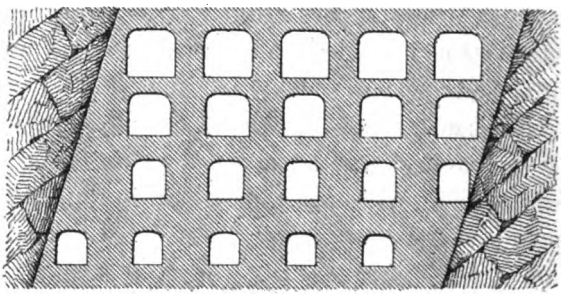


Fig. 288. — Piliers et estaus (coupe verticale).

d'un chantier. Chacun des étages s'exploite d'ailleurs distinctement d'après l'un ou l'autre des trois types précédents.

On doit avoir soin de faire coïncider en projection, d'une tranche à l'autre, le réseau des massifs abandonnés, de manière à *ne jamais faire porter le plein sur le vide* (1). En outre, on réduit progressivement dans la profondeur les dimensions des excavations, en augmentant d'autant celles des parties pleines, afin de rapprocher dans une certaine mesure les colonnes massives qui règnent ainsi sur toute la hauteur de l'édifice souterrain, de la forme théorique du solide d'égale résistance, qui est évasé vers le bas suivant un profil logarithmique (Chap. XXX, § 1). Les divers estaus ont d'ailleurs pour effet de contreventer ces immenses piles, en

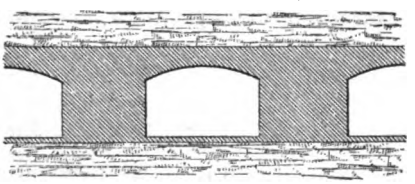


Fig. 289. — Piliers tournés, avec semelle et couronne (coupe verticale).

(1) Dans les carrières de Bourré (Loir-et-Cher), où l'on exploite le tuffeau sur 5 tranches, avec des piliers de 5 mètres sur 5, et des galeries de 5 mètres de large et de 3 mètres de hauteur, on donne des coups de vilebrequin à travers les estaus afin de faire correspondre les vides entre eux et de donner la direction des percements.

Digitized by Google

les reliant les unes aux autres sur divers points de leur hauteur.

Même dans les méthodes en une seule tranche, on abandonne, s'il y a lieu, une portion de la masse, sous forme de *semelle* à la base, et de *couronne* au faîte (fig. 289), pour réaliser la solidarité de tous les piliers, ou pour obtenir, le cas échéant, une sole plus favorable au roulage.

Les massifs peuvent reposer sur la semelle par un angle vif. Mais ce dispositif doit, la plupart du temps, être évité à leur insertion sous l'estau. Sans cela, il se produirait des criques dans ces angles rentrants. On adoucit ces derniers par des congés de raccordement, qui peuvent même dans certains cas acquérir une importance conduisant au plein cintre, ou à des voûtes ogivales plus ou moins élancées [1].

§ 2

CALCUL DU RENDEMENT

424 — *Méthode des piliers.* — Désignons par p, p' les deux dimensions horizontales des piliers (fig. 284), et par g, g' la largeur des deux systèmes de galeries. L'élément du quadrillage général auquel appartient le pilier pp', est un rectangle qui a pour dimensions $p+g$, $p'+g'$. La perte proportionnelle, à laquelle il donne lieu, a donc pour valeur :

$$\frac{pp'}{(p+g)\,(p'+g')},$$

et, par suite, le rendement devient égal à :

$$(1) \qquad \rho = 1 - \frac{pp'}{(p+g)\,(p'+g')} = \frac{gg' + pg' + p'g}{(p+g)\,(p'+g')}.$$

[1] Comme exemples de l'application de la méthode des *piliers et estaus*, je citerai les carrières de craie de Meudon (Seine-et-Oise), le gîte de sel potassique de Stassfurth (N° 436), la mine de fer de Rancié (Ariège), propriété communale, exploitée sous la direction des ingénieurs du Corps des Mines (Mussy, *Annales*, 6e, XIV, 57, 193 et XV, 327), la mine de magnétite de Norberg (Suède) avec des hauteurs de 15 mètres et des estaus de 2 à 6 mètres.

La méthode des *cloisons et estaus* se voit à la mine d'étain d'Altenberg (N° 441), et dans les exploitations par dissolution d'Aussee (Salzkammergut), et de Hallstadt (N° 439).

Digitized by Google

Si, par exemple, les piliers sont carrés et les deux systèmes de voies de même largeur, en appelant α *le rapport* $\frac{p}{g}$ *du plein au vide linéaires*, qui est alors le même dans les deux sens, on aura, en divisant par gg' les deux termes de la fraction :

$$(2) \qquad \rho = \frac{1 + 2\alpha}{(1 + \alpha)^2}.$$

Pour le cas particulier du plein égal au vide, cette formule donne :

$$\rho = \frac{3}{4}.$$

Dans la méthode des piliers longs, on a $p' = \infty$. Si donc on introduit cette hypothèse dans la formule (1), après avoir préalablement divisé par p' les deux termes de la fraction, il vient :

$$(3) \qquad \rho_1 = \frac{g}{p + g} = \frac{1}{1 + \alpha}.$$

425 — *Méthode des cloisons.* — Si l'on veut, pour un calcul théorique, imaginer que les centres des chambres circulaires forment un réseau régulier, on ne peut employer que deux types dérivant soit du carré, soit du triangle équilatéral.

Envisageons d'abord le système carré. Soit r le rayon des cercles, e l'épaisseur de la paroi qui les sépare. La surface du cercle sera πr^2, et celle du carré $(2r + e)^2$. Comme on prélève sur celui-ci un quart de cercle à chacun de ses quatre sommets, le rendement aura pour expression :

$$\rho_2 = \frac{\pi r^2}{(2r + e)^2},$$

c'est-à-dire, en divisant les deux termes par $4r^2$

$$(4) \qquad \rho_2 = \frac{\pi}{4(1 + \alpha)^2},$$

Digitized by Google

si nous continuons à désigner par α le rapport $\frac{e}{2r}$ du plein au vide linéaires suivant la ligne des centres.

Considérons en second lieu le diagramme triangulaire. Le côté du triangle étant $2r + e$, sa surface a pour valeur $\frac{\sqrt{3}}{4}(2r + e)^2$. Comme on utilise un sixième du cercle à chacun des trois sommets, le rendement sera :

$$(5) \qquad \rho_3 = \frac{2\pi r^2}{\sqrt{3}\,(2r + e)^2} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}\,(1 + \alpha)^2}$$

Le rapport de ces valeurs :

$$\frac{\rho_3}{\rho_2} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1{,}1547$$

est à l'avantage du réseau triangulaire. Ce dernier système reste cependant lui-même inférieur à celui du quinconce des piliers carrés, à égalité de rapport α du plein au vide linéaires, car on a :

$$\frac{\rho_3}{\rho} = \frac{\pi}{2\sqrt{3}\,(1 + 2\alpha)} = \frac{0{,}9069}{1 + 2\alpha};$$

valeur inférieure à l'unité.

426 — *Méthode des estaus.* — Désignons par c la hauteur du chantier et par e celle de l'estau, en négligeant l'influence des congés de raccordement, s'il en existe. La tranche exploitée ne sera que la fraction $\frac{c}{c+e}$ de l'étage qui est formé d'une tranche et d'un estau. Comme d'ailleurs on ne retire de cette tranche qu'un rendement ρ (déjà évalué par les diverses formules précédentes), le rendement définitif ρ_4 aura pour valeur :

$$(6) \qquad \rho_4 = \frac{c}{c + e}\,\rho,$$

Digitized by Google

c'est-à-dire, en nous bornant pour fixer les idées à la méthode des piliers tournés (1) :

$$(7) \qquad \rho_4 = \frac{c\,(gg' + pg' + p'g)}{(c+e)\,(p+g)\,(p'+g')}.$$

Admettant, par exemple, le même rapport α du plein au vide linéaires suivant les trois dimensions de l'espace, on aura :

$$\rho_4 = \frac{1+2\alpha}{(1+\alpha)^3},$$

et, en particulier, pour l'hypothèse du plein égal au vide, $\alpha = 1$:

$$\rho_4 = \frac{3}{8}.$$

427 — Pour envisager des exemples effectifs, je citerai en premier lieu, comme méthode en une seule tranche, une couche de sel prise à Dieuze (fig. 289) en abandonnant une semelle de $0^m,20$ et une couronne de $1^m,00$ à la clef. Le profil de la galerie, refouillé en voûte surbaissée, présente $3^m,10$ de hauteur aux naissances et $3^m,80$ sous clef, d'où $c+e = 0^m,20 + 3^m,80 + 1^m,00 = 5^m,00$. Nous adopterons pour la hauteur du chantier, par une approximation bien suffisante, la valeur moyenne $c = 3^m,45$. Les piliers carrés ont pour côté $p = 5^m,00$ et les galeries, égales dans les deux sens, admettent comme largeur $g = 6^m,00$. La formule (7) donne dans ces conditions $\rho_4 = 0,547$. On retire donc environ 55 % du gîte, en perdant 45 % [1].

Considérons, en second lieu, les carrières de craie de Meudon,

[1] Dans la mine de sel de Marston old (Northwich), où les piliers ont $9^m,15$ en carré et les galeries $22^m,85$ de largeur sur $4^m,50$ de hauteur, les formules donnent :

$$\alpha = 0,40; \qquad \rho = 0,92.$$

Les magnifiques carrières de Châteaugaillard, pratiquées dans l'oolithe de la Vienne, présentent des piliers de 5 mètres sur 5, des galeries de 10 mètres et des hauteurs de $5^m,70$. Il vient alors :

$$\alpha = 0,50; \qquad \rho = 0,89.$$

Digitized by Google

masse géologique pour ainsi dire illimitée dans tous les sens, mais de laquelle on n'exploite, en raison de sa qualité, qu'une certaine zone divisée en trois tranches, que l'on prend par piliers et estaus. Si nous envisageons uniquement ici l'étage intermédiaire, nous y trouvons des piliers et des galeries de dimensions égales : $p = 5^m,00$; $g = 5^m,00$. Ces dernières atteignent 5 mètres d'élévation. On a ainsi $c = 5^m,00$; mais comme elles sont en plein cintre, la section équivalente a pour hauteur approximative $c' = 4^m,46$. L'estau réel présente comme épaisseur à la clef $e = 3^m,00$; et l'étage, comme hauteur totale : $c' + e' = c + e = 5^m,00 + 3^m,00 = 8^m,00$. La formule (7) donne dès lors : $\rho_4 = 0,416$. On retire donc environ deux cinquièmes de la tranche intermédiaire, en abandonnant les trois autres cinquièmes.

§ 3

EXEMPLES

428 — Les dispositifs généraux que je viens de décrire en les réduisant à leur plus grande simplicité, se compliquent, pour certaines mines, de détails attentivement étudiés et qui méritent d'être connus, afin que l'on puisse se faire une idée plus complète des ressources variées que présente, pour l'exploitation souterraine, le principe de l'abandon des massifs. Je présenterai d'après ce motif un certain nombre d'exemples spéciaux.

Ardoisières de Trélazé (Maine-et-Loire), (fig. 290, 291) [1]. — Le terrain de transition des environs d'Angers renferme une bande schisteuse silurienne reconnue sur près de 6 kilomètres de longueur, dirigée vers N. 60° O., et contenant notamment quatre

[1] Blavier, *Essai sur l'industrie ardoisière d'Angers*, 1863, p. 31. — Ichon, Notice sur l'exploitation souterraine des ardoisières d'Angers. *Bull. min.*, 3e, IV, 853. — Larivière, Notes d'un voyage aux ardoisières du pays de Galles (*Annales*, 8e, VI, 526. — *Bulletin de l'Association amicale des Élèves de l'École des mines de Paris*, 1885, 159). — Blonnardeaux, Industrie ardoisière du bassin d'Herbeumont, *Rev. univ. d. m.*, 1886, I, 288.

Digitized by Google

veines ardoisières exploitables : celles de l'Union et de la Porée, et surtout celles du Nord et du Sud, ou des Petits et des Grands Carreaux. Elles sont inclinées vers le Nord, de 65° sur l'horizontale. Le plan de clivage est à peu près vertical, et fait un angle de quelques degrés avec la direction. Le schiste ardoisier n'af-

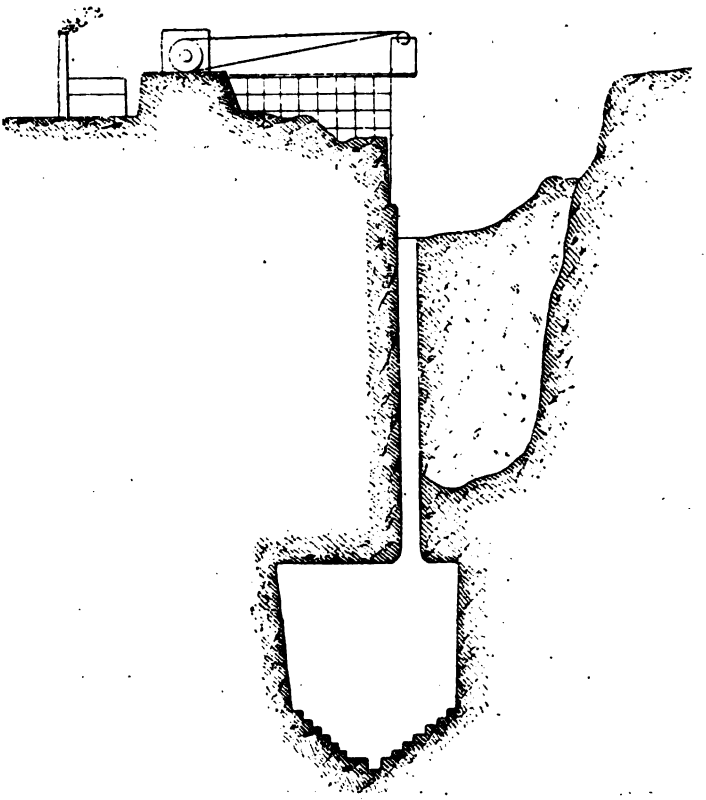


Fig. 290. — Ardoisières souterraines d'Angers (coupe verticale).

fleure pas en général, et ses pointements isolés manquent de fissilité. Le chapeau des veines s'est altéré ; il porte le nom de *cosse*, et a retardé jusque vers le XIIe siècle la découverte de ces utiles gisements. L'homogénéité de la masse est malheureusement troublée par des *délits* ou fissures qui affectent des orientations assez constantes, d'après lesquelles on les distingue en *chefs*, *érusses*, *rembrayures*, *chauves*.

Digitized by Google

L'exploitation se fait, d'une part, à l'aide de magnifiques découverts, sur lesquels nous aurons occasion de revenir (N° 577) et, en outre, par la première variante de la méthode des cloisons (N° 422),

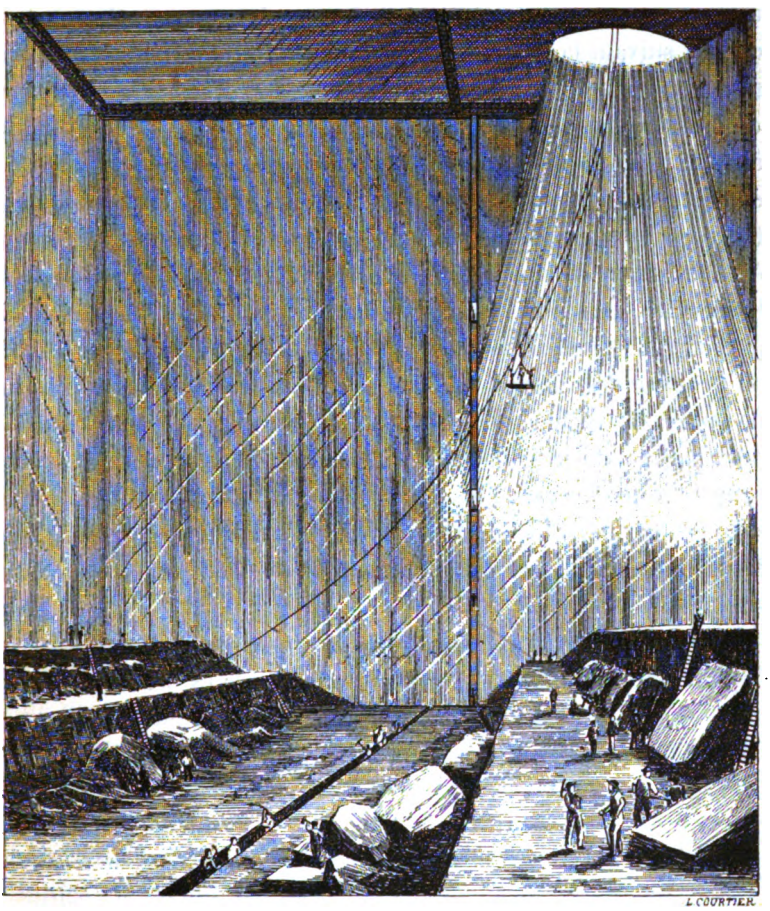


Fig. 291. — Ardoisières souterraines d'Angers (perspective).

au moyen d'immenses chambres qui ont atteint aux Grands-Carreaux 70 mètres, suivant l'horizontale, sur une hauteur de 110 mètres environ. On les a nommées assez justement des *carrières à ciel ouvert sous voûte* (1).

(1) Cette forme de l'industrie ardoisière, introduite en 1832 par Le Chatelier, inspec-

Digitized by Google

Pour établir un de ces chantiers, on commence par gagner la profondeur nécessaire, à l'aide d'un puits vertical de 3 mètres sur 5 mètres [1], puis on pousse, dans le sens du *fil-de-pierre*, une galerie jusqu'aux extrémités de la chambre. On trace également une voie perpendiculaire. On bat alors au large en *gradins couchés* dirigés suivant la fissilité de la roche. On désigne par cette expression un front de taille présentant des *décrochements* en zigzags, de manière que la roche soit dégagée sur deux faces, et plus facile à abattre. Lorsque l'on atteint le périmètre voulu, l'on commence la confection de la voûte. Celle-ci étant terminée, l'on exécute la foncée en gradins droits, comme dans une carrière à ciel ouvert, en élargissant et approfondissant la chambre jusqu'aux limites de la sécurité. Des visiteurs surveillent constamment la solidité des parois. Elles sont, à cet effet, revêtues d'un réseau de *passerelles* ou *promenades*, horizontales ou inclinées, qui servent à examiner de près le rocher. Certaines ardoisières présentent plus de 400 mètres de ces balcons suspendus, munis de mains courantes. Nous verrons plus tard (chap. XLVI, § 1) comment l'éclairage au gaz, et plus tard l'éclairage électrique, sont venus améliorer les conditions de l'exploitation de ces immenses espaces souterrains.

On tend aujourd'hui à substituer à ces énormes excavations une exploitation remontante par gradins renversés (N° 514).

Le groupe ardoisier de Maine-et-Loire a occupé en 1891 un total de 2750 ouvriers, qui ont produit 159 820 050 ardoises, valant 3 553 257 francs.

teur général des mines, était autrefois usitée en Bretagne sur de petites dimensions. Forgeron de Boudaroq l'a décrite en 1767 (Ichon, *Bull. min.*, 3e, IV, 761).

On remarquera la hardiesse des exploitants et des mineurs qui travaillent dans de telles conditions, car la mortalité par accidents y atteint le chiffre de 565 sur 100 000 ouvriers du fond, tandis qu'elle n'est que de 190 pour l'ensemble des houillères de France malgré le danger spécial du grisou; ce qui représente le triple pour l'industrie ardoisière. Ce sont beaucoup plus les accidents de détail que les grandes catastrophes qui interviennent dans ce total. Et cependant ces dernières peuvent atteindre des proportions effrayantes. L'effondrement des Grands-Carreaux a porté sur environ 450 000 mètres cubes de roche, et une superficie extérieure de près d'un hectare.

[1] Les règlements en exigent deux, dont un consacré au service de l'extraction, et l'autre à la circulation des ouvriers par les échelles.

Digitized by Google

429 — *Ardoisières de Rimogne* (Ardennes) (1). — La couche principale du schiste ardoisier de Rimogne affecte la forme d'un coin dans le sens de la direction, et présente une inclinaison d'environ 45°. Sa puissance, qui se réduit à zéro vers l'est, atteint 50 mètres à l'ouest.

Cette masse est exploitée, à la carrière de la Grande-Fosse, d'après la méthode des piliers longs (N° 421). On enlève le schiste par chambres carrées appelées *ouvrages*, de 13 à 15 mètres de côté, entre lesquelles on ménage des piliers de 10 à 12 mètres, que l'on dispose en décrochements plus ou moins réguliers (fig. 287), afin de chercher les portions les plus compactes, en évitant les filières naturelles.

430 — *Houillères sous-marines de Whitehaven* (Cumberland) (2). — Les mines de houille de Whitehaven, situées sur la côte occidentale d'Angleterre, s'étendent sous la mer d'Irlande jusqu'à 2 kilomètres au large. Bien que l'exploitation se trouve à 240 mètres au-dessous du plan d'eau, cette situation exceptionnelle rend tellement indispensable d'éviter les moindres mouvements dans le toit, que l'administration, à la suite de divers accidents, a imposé pour toute cette région le mode d'exploitation par piliers tournés (N° 420).

A William-Pit, la couche *main-band* plonge sous la mer, avec une pente régulière de $0^m,14$ par mètre. On y pratique un traçage, en avançant au moyen de galeries de $5^m,50$ de large sur $2^m,40$ de hauteur, et abandonnant en couronne une planche de charbon de $0^m,80$ pour soutenir un mauvais toit. Les piliers, de forme carrée, ont $18^m,30$ de côté. Mais quand on bat en retraite, à partir des limites du champ d'exploitation que l'on s'est fixé, on les refend en quatre, au moyen de traversées égales aux premières, c'est-à-dire de $5^m,50$ de largeur. Les piliers définitivement abandonnés ont donc $6^m,40$ de côté.

431 — *Wicket-system* (Nord du pays de Galles), (fig. 292) (3).

(1) Blavier, *Essai sur l'industrie ardoisière d'Angers*. 1863, 66.
(2) *PA*, Angl. 130.
(3) *PA*, Angl. 158.

Digitized by Google

— Dans des couches de 2 à 3 mètres de puissance, peu inclinées, peu grisouteuses, on conduit, pour un grand nombre de mines de cette région, une artère principale en inclinaison, sous la forme de deux galeries jumelles séparées par un massif de 12 mètres, et reliées par des traverses d'aérage à des intervalles de 24 mètres (N° 406). Tous les 120 mètres, on y branche des artères secondaires constituées de la même manière, sauf qu'elles sont horizontales, et poursuivies en direction sur 260 mètres de long. On rétrograde alors

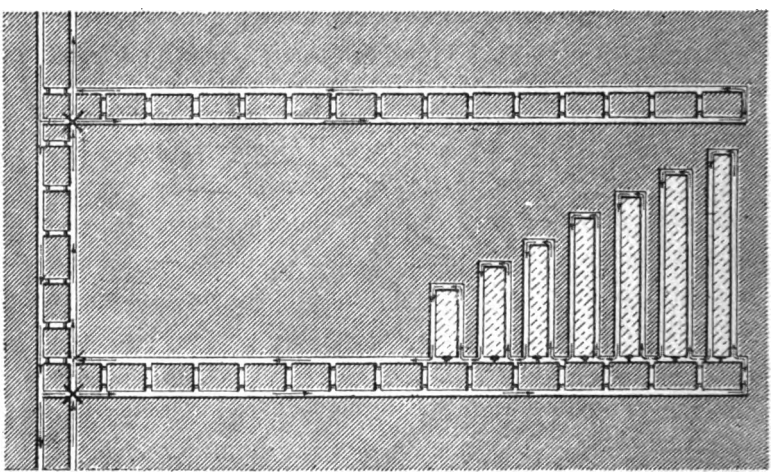


Fig. 292. — Wicket-system (coupe par le plan du gîte).

à partir des extrémités, en ouvrant des ouvrages montants qui présentent 18 mètres de front en direction, séparés par des piliers longs en inclinaison, d'une largeur trois fois moindre, qui sont perdus. Sur les deux faces de chaque pilier, l'on ménage dans les débris, formés de stérile et de menu que l'on abandonne, des galeries pour l'entrée et le retour d'air, pour le roulage et la circulation des hommes. On réserve en outre, à l'aval pendage des artères chassantes, un massif de protection de 12 mètres, au pied duquel viennent s'arrêter les ouvrages montants branchés sur l'artère inférieure.

Digitized by Google

432 — *Houillères de Sandwell park* (Staffordshire), (fig. 295) [1].

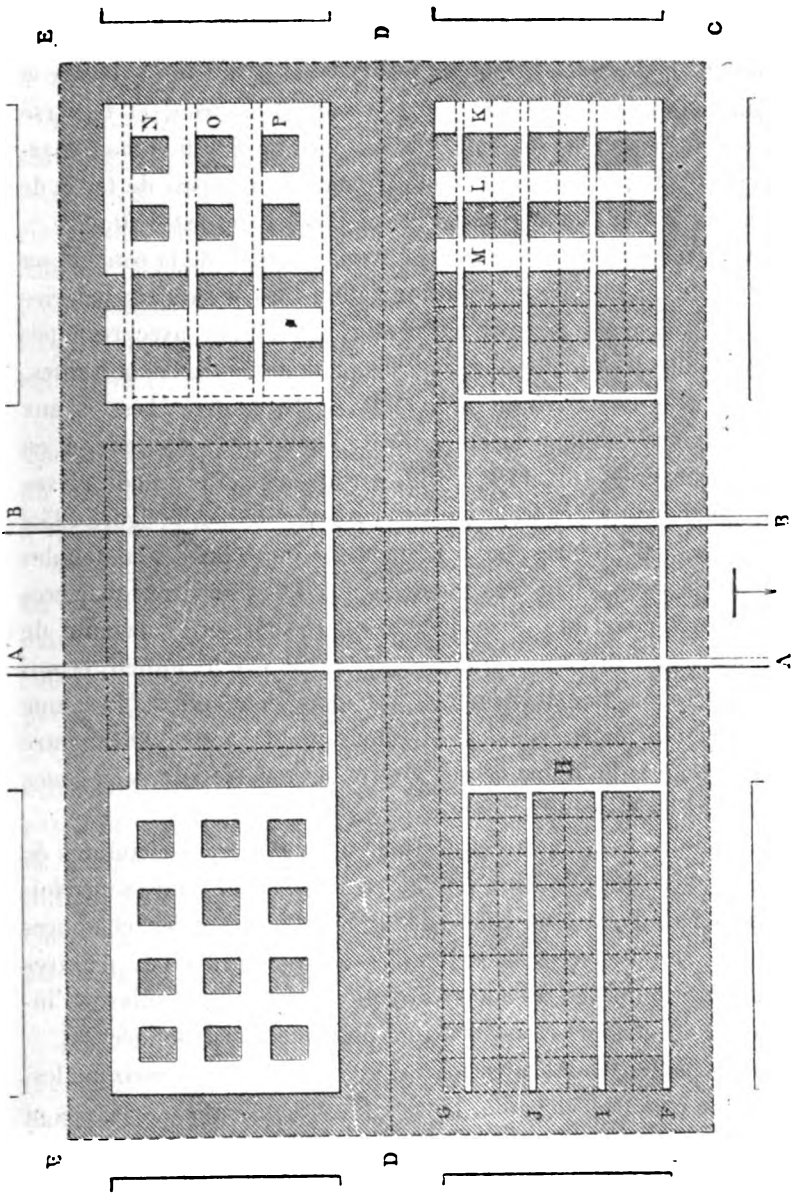


Fig. 295. — Grande couche du Staffordshire (coupe par le plan du gîte).

[1] *PA*, Angl., 185. — Demanet (*Annales des travaux publics de Belgique*, XLVIII. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XII, 105).

Digitized by Google

— Le Staffordshire renferme un banc de charbon, connu sous le nom de *Ten yards coal* ou *Dudley thick coal*, d'autant plus célèbre qu'il forme à peu près la seule couche vraiment puissante de toute l'Angleterre (N° 411). Les puits de Sandwell park, entre Dudley et Birmingham, l'ont rencontré à 400 mètres environ, et traversé sur une épaisseur totale de $11^m,55$ formée de $8^m,20$ de bon charbon, et $3^m,35$ d'alternances subordonnées de minerai de fer et de combustible que l'on n'exploite pas. L'inclinaison est de 0,222.

De la recette, placée à la rencontre du puits et de la couche, on a fait partir une artère de communication formée de deux galeries jumelles, séparées par un entre-deux de $36^m,50$ avec recoupes d'aérage tous les $45^m,70$. Ces galeries, comme toutes les suivantes, sont ouvertes sur $2^m,75$ de large et $1^m,85$ de hauteur. Les travaux de dépilage se développent au contraire sur toute la hauteur, et en gradins renversés (fig. 119 et 120) à cause de cette grande élévation. (Cette artère générale n'est pas représentée sur la figure 293.)

Tous les 260 mètres, on y branche de nouvelles voies doubles montantes, avec 33 mètres d'entre-deux. Elles serviront d'artères secondaires, pour une série de zones d'une largeur constante de 260 mètres en direction, qu'elles partagent par le milieu, et qui sont placées à l'amont-pendage les unes des autres, avec une relevée de 75 mètres suivant l'inclinaison. (La figure 293 montre un tronçon AA, BB d'une de ces artères secondaires, et deux zones distinctes CCDD, et DDEE.)

Chacune de ces zones est destinée à former trois chambres de 74 mètres en direction sur $58^m,50$ en inclinaison. Elles sont cloisonnées par deux intervalles de $7^m,50$. En outre les chambres extrêmes sont séparées de celles des zones voisines par d'autres massifs de 23 mètres suivant la direction et de $16^m,50$ suivant l'inclinaison. Toutes ces cloisons seront finalement abandonnées.

Enfin chaque chambre est partagée en sept bandes horizontales, de neuf rectangles chacune. De ces 63 cases, 51 sont dépecées et 12 subsistent sous forme de piliers abandonnés. Ils sont destinés, comme les entre-deux, à soutenir le toit, au moins pendant l'exploitation, car il finit tôt ou tard par s'ébouler. En outre, les cloisons servent de remparts éventuels contre les incendies qui prennent

Digitized by Google

facilement naissance, et que l'on arrive plus facilement à cerner, en n'ayant à barrer que les percements pratiqués à travers ces entre-deux.

433 — La succession des opérations s'effectue de la manière suivante. On atteint, à partir de l'artère secondaire A, par les deux galeries F, G, l'aval-pendage des bandes inférieures et supérieures des chambres extrêmes. On relie les galeries, dès l'entrée dans la chambre, par un montage H sur lequel on branche, à l'aval-pendage de la troisième et de la cinquième bande, les galeries I, J. (La chambre inférieure de gauche montre, sur la figure 293, cet état de choses.)

On bat alors au large en montant à partir de ces galeries, pour vider les bandes en inclinaison K, L, M, en commençant par celles du fond de la chambre. (La chambre inférieure de droite est figurée d'après ce degré d'avancement des opérations.)

Avant que toutes les bandes inclinées soient terminées, on reperce en direction leurs entre-deux, en rétrogradant sur l'artère secondaire, de manière à isoler les piliers définitifs N, O, P. (La chambre supérieure de droite représente cet état de choses, et tout se termine par le type de la chambre supérieure de gauche.)

Quant aux chambres centrales, elles ne sont prises qu'après celles de droite et de gauche. Elles sont d'ailleurs exploitées, non pas d'un côté à l'autre, comme les précédentes, mais en rabattant de chaque côté vers les voies jumelles qui les partagent par le milieu. Celles-ci sont conservées dans le ferme, au-dessous des chantiers qui n'exploitent que l'épaisseur située en couronne au-dessus de ces voies.

434 — *Mines d'anthracite de Wilkes-Barre* (Pennsylvanie). (fig. 294) [1]. — Le terrain anthraxifère de Pennsylvanie, encaissé dans la formation dévonienne, couvre 2400 kilomètres carrés, et a produit en 1890 près de 45 millions de tonnes. Il comprend quatre

[1] Sauvage, *Annales*, 7e, VII, 222. — Henry, *Bull. min.*, 2e, VII, 600. — Levasseur, *Génie civil*, III, 524. — De Sinner, L'industrie des anthracites aux États-Unis. Lausanne, 1886, 33. — Leproux, *Bull. min.*, 3e, VIII, 44.

Digitized by Google

cuvettes qui s'allongent parallèlement à la direction générale des Alleghanys; chacune d'elles renferme de 3 à 15 couches, et même 20 pour le bassin le plus méridional. La plus importante est celle du Mammouth, ou de Baltimore, dont la puissance se tient ordinairement entre 5 et 8 mètres, en atteignant parfois 20 mètres. L'anthracite est dur. Les roches encaissantes le sont encore plus. Elles sont formées de poudingues et de conglomérats à éléments quartzeux et ciment siliceux. Les couches ont été fortement relevées et plissées. Ces diverses données géologiques ont déterminé l'institution de la méthode suivante.

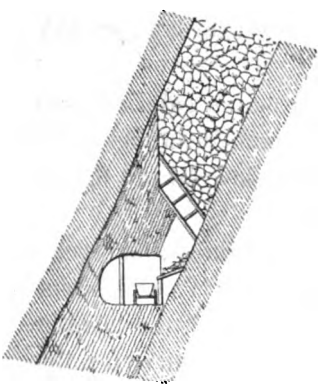


Fig. 294. — Anthracite de Pennsylvanie (coupe verticale).

On divise la couche en étages de 50 mètres, dans chacun desquels on pratique des tailles, en laissant entre elles des piliers longs de 5 mètres d'épaisseur. Ces entre-deux peuvent être considérés en principe comme abandonnés, bien qu'on les gratte en reculant de manière à y reprendre ce que l'on peut, jusqu'à ce qu'ils deviennent menaçants. De plus, on ménage dans leur épaisseur des voies de sûreté, communiquant avec l'intérieur des chambres par de courtes recoupes.

En plateure, on avance suivant le pendage. Dans les parties plus redressées, on conduit les chantiers en demi-pente, de manière à conserver l'inclinaison voulue. Pour les portions décidément raides, on rétablit l'ouvrage suivant la ligne de plus grande pente, mais avec un dispositif tout particulier qui rappelle la méthode de remblai du fonçage ascendant sous stot (N° 352). Les deux questions offrent en effet beaucoup d'analogie, puisque le chantier forme, dans le cas actuel, une sorte de puits incliné ouvert en montant.

A la base de l'étage se trouve la mère-galerie chassante, sur laquelle sont branchées les tailles. Elles y débouchent par une cheminée garnie d'une trappe, et pratiquée à travers un estau de protection. Sauf des passages ménagés pour l'air et pour les hommes,

Digitized by Google

la chambre est remplie d'anthracite concassé, que maintient un grillage en charpente. On ne vide par la cheminée, au fur et à mesure que le front de taille s'élève suivi du remblai, que le trop-plein fourni par le foisonnement. Les piqueurs ont les pieds sur ce remplissage, et abattent le combustible au-dessus de leur tête. Lorsque la chambre est arrivée à la limite de l'étage, on la vide complètement au moyen de la trappe.

On tend aujourd'hui en Pennsylvanie à modifier cette méthode d'exploitation, afin de mieux utiliser le gisement.

435 — *Mine de sel gemme de Wieliczka* (Pologne) (fig. 295). —

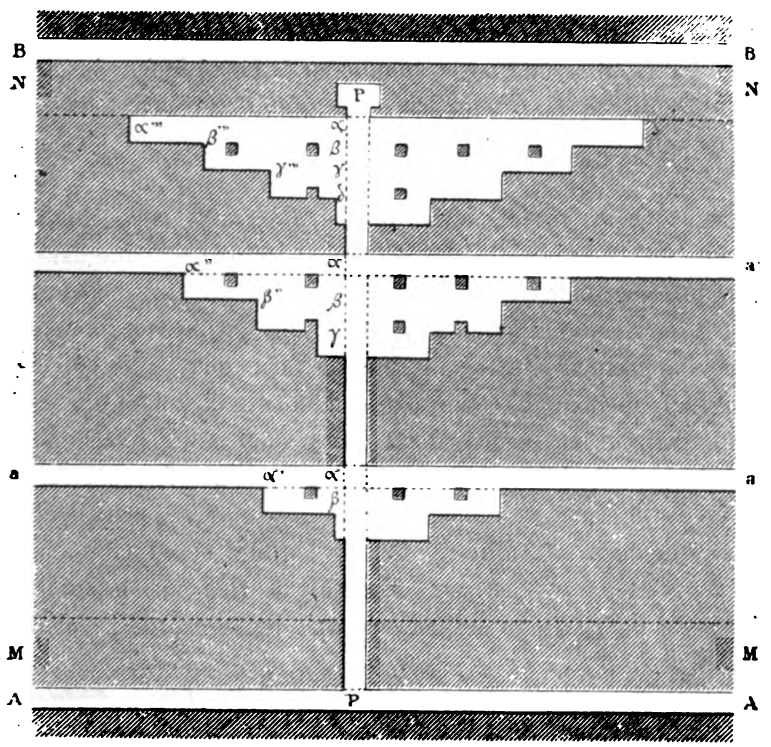


Fig. 295. — Saline de Wieliczka (coupe par le plan du gîte).

Dans une couche peu inclinée, chaque étage est déterminé par sa voie de fond A, et par celle B de l'étage supérieur. Il est divisé en

Digitized by Google

sous-étages par un certain nombre de costresses *a*. Des plans inclinés, tels que P, les relient toutes à la voie de fond A. Les divers sous-étages sont exploités de la même manière, sauf que, à l'amont-pendage du sous-étage inférieur, et à l'aval-pendage du sous-étage supérieur, on réserve des massifs continus de protection M, N, pour assurer la conservation des galeries-maîtresses A et B. Tel est le traçage.

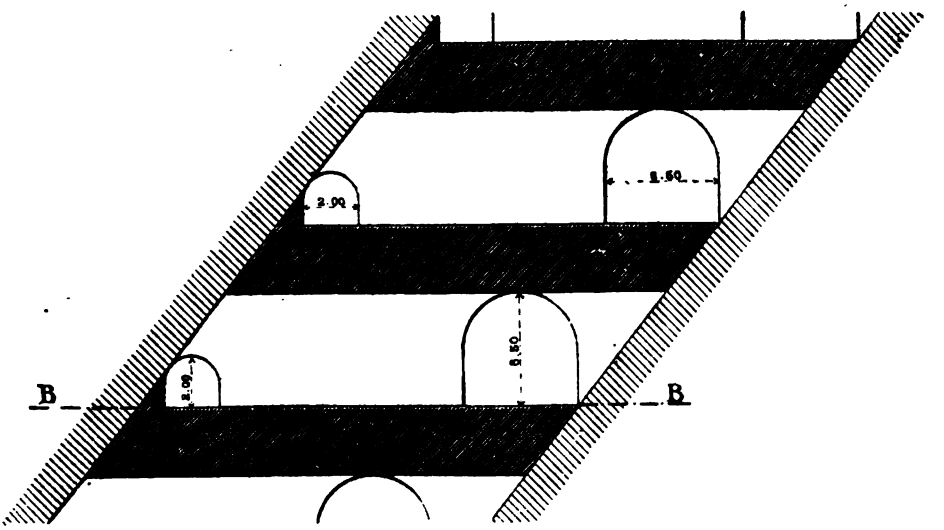
Pour dépiler un sous-étage, on se développe symétriquement sur les deux ailes, à partir de chaque plan incliné. Ces ouvrages sont conduits en gradins couchés. On a soin de laisser derrière soi un quinconce de piliers tournés, pour soutenir le plafond. L'avancement s'opère en chassant; c'est-à-dire qu'une équipe, partant de l'angle supérieur α du lopin, s'avance en direction. Quand elle est arrivée en α', un second poste attaque en β. Lorsque tous les deux sont parvenus en α'', β'', un troisième gradin est ouvert en γ, et ainsi de suite.

436 — *Mine de sel potassique de Stassfurth* (Magdebourg), (fig. 296, 297) [1]. — Le célèbre gîte de Stassfurth est situé dans la partie inférieure du trias. Il renferme, reposant sur une énorme masse de sel gemme, qui n'y présente au point de vue industriel qu'une importance effacée, une épaisse formation lenticulaire de carnallite, contenant 27 pour 100 de chlorure de potassium, d'où ces mines tirent leur principal intérêt, et dont la découverte a déterminé une perturbation complète dans le commerce de la potasse. Divers sels multiples accompagnent ces deux matières principales : gypse, anhydrite, polyalite, kiésérite, kaïnite, stassfurthite, etc. Cette lentille, dont l'épaisseur se réduit à rien sur les bords, présente dans la région des travaux une puissance de 25 mètres environ.

La partie exploitée est inclinée entre 25 et 40°. Elle possède une trentaine de mètres de traversée horizontale. On la prend par la méthode des piliers et estaus (N° 423). Les tranches ont $8^m,50$ de hauteur, et sont séparées par des estaus de 4 mètres d'épaisseur.

[1] Fuchs, *Annales*, 6e, VIII, 1. — Bischof, *Die Steinsalzwerke bei Stassfurth*, 1875.

Digitized by Google



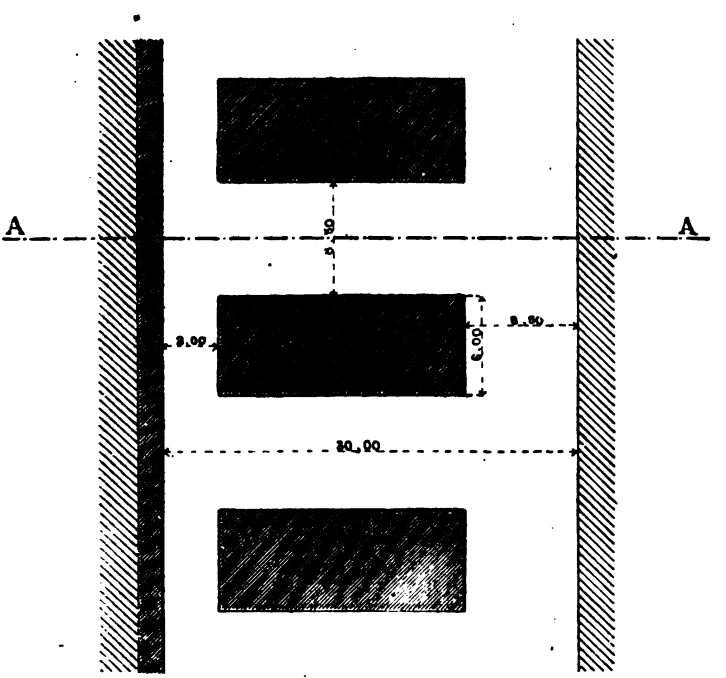


Fig. 296 et 297.
Mine de sel potassique de Stassfurth (coupes verticale et horizontale suivant AA et BB).

Digitized by Google

Une grande galerie d'allongement, de 8m,50 de largeur avec une hauteur égale, règne le long du mur. Une galerie plus petite de 2 mètres sur 2 mètres, se trouve au toit. L'entre-deux est divisé en piliers d'une vingtaine de mètres, sur 6 mètres en direction, par des traverses de 8m,50 de largeur, ouvertes sur une hauteur égale.

437 — *Mines de sel gemme de Marmaros* (Hongrie) (fig. 298, 299) (1). — La puissante formation de sel du comitat de Marmaros appartient à l'étage miocène, et s'étend sur toute la longueur de cette province. Les roches encaissantes ont subi des actions extrêmement marquées de redressement et de froissement, qui sembleraient indiquer une influence éruptive de soulèvement, si cette hypothèse n'était aussi difficile à concilier avec la nature du chlorure de sodium (2). Le sel affleure en certaines places. Dans d'autres, il se dissimule sous un recouvrement d'argile d'un noir bleuâtre, qui atteint jusqu'à 40 mètres d'épaisseur, et forme alors une très utile défense contre l'infiltration des eaux. En certains endroits cette couche est remplacée par un diluvium. La puissance de la masse saline

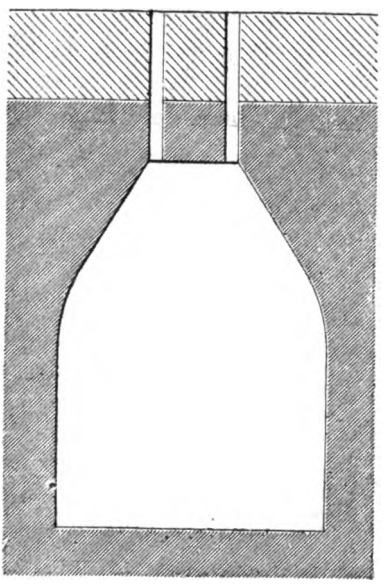


Fig. 298. — Salines de Marmaros.
Méthode des bouteilles (coupe verticale).

(1) Serlo, *Leitfaden zur Bergbaukunde*, I, 495. — *Mémoires inédits* de M. Henriot, élève ingénieur des mines, sur les mines de sel du comitat de Marmaros (1880), et de M. Tauzin, élève ingénieur des mines, sur les salines de Transylvanie (1880). — Pellé, Étude sur les salines de Roumanie, *Annales*, 8e, X, 271. — H. Cremer, *Richesse minérale de la Roumanie*, Liège, 1888, 43. — Dianu, *Note asupra instalatiunilor de la Salina Slanic*, Bucharest, 1884.

(2) On a du reste retrouvé des circonstances analogues dans les sels tertiaires d'Algérie.

Digitized by Google

est inconnue. On a dépassé 150 mètres sans voir s'altérer sa pureté.

A une époque très reculée, qui paraît voisine de l'année 600 après J.-C., on a commencé à exploiter *par bouteilles* (N° 422) [1]. On s'enfonçait à l'aide de deux puits, séparés par une distance de 6 à 8 mètres (fig. 298). L'un d'eux servait à l'extraction, et l'autre à la circulation du personnel. Après la traversée du recouvrement, et d'un estau de protection d'une dizaine de mètres dans le sel, on réunissait les deux percements, et l'on s'élargissait progressivement, en cercle ou en ellipse, avec une largeur de 50 à 75 mètres, après quoi l'excavation s'enfonçait verticalement, jusqu'à ce que l'irruption des eaux, ou des menaces d'éboulement fissent abandonner la mine, que l'on rouvrait plus loin à une distance suffisante pour assurer la solidité des parois de séparation.

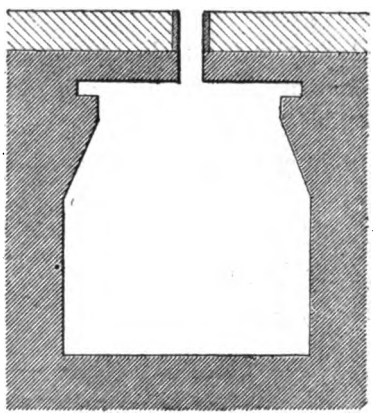


Fig. 299. — Salines de Marmaros.
Méthode des chambres (coupe verticale).

Certaines de ces chambres, dans des conditions favorables, ont duré deux et trois siècles. La cloche d'Apafy formait une ellipse de 52 mètres sur 62, avec une hauteur sous clef de 120 mètres. On a également atteint le chiffre de 147 mètres de hauteur, sur 47 de diamètre.

438 — En 1777, le Bergmeister Grossmidt substitua au système circulaire, qui donnait lieu à une perte énorme (N° 425), un

[1] C'est également à la *méthode des bouteilles* que l'on doit rattacher en principe l'exploitation des carrières de Dousse (par Doué-la-Fontaine, Maine-et-Loire). On y pratique des chambres rectangulaires de 5 mètres sur 7, après avoir traversé la couche superficielle à l'aide d'un puits de 1 mètre sur 2 mètres jusqu'à la rencontre des fahluns de l'Anjou. Il existe en Champagne des carrières de craie exploitées d'une manière analogue.

Digitized by Google

réseau de chambres parallélépipédiques très allongées, se rapprochant de la méthode des piliers longs (N° 421).

On pratique au cerveau (fig. 299) des galeries munies de garde-corps, sous la sole desquelles on s'élargit à 45°, jusqu'à donner aux chambres une largeur de 40 à 45 mètres, à partir de laquelle on s'approfondit suivant la verticale. Le sel s'enlève par tranches successives que l'on débite à l'aide de rouillures, ou bien en gradins droits (1).

A Rönaszek, la chambre Marie-Thérèse avait une profondeur de 134 mètres, une longueur de 206 mètres, une largeur de 68 mètres; c'est-à-dire un volume de plus de 1 800 000 mètres cubes. A Szlatina, la chambre Cunégonde présente une profondeur de 65 mètres, une longueur de 381 mètres, une largeur assez variable de 50 à 60 mètres en moyenne.

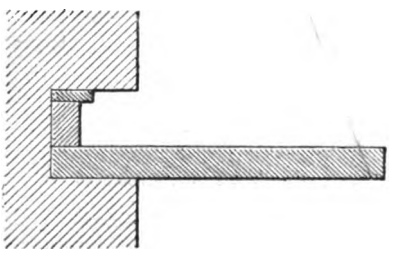


Fig. 300. — Salines de Marmaros.
Balcon de surveillance (coupe verticale).

Des galeries de visite règnent le long des parois. On les établit en encorbellement avec une grande hardiesse (fig. 300). Des madriers sont encastrés au moyen de blocs de bois, dans des potelles pratiquées en plein sel. Leurs joints sont rapidement consolidés par les eaux saturées de chlorure de sodium, qui s'évaporent à l'air. C'est là d'ailleurs l'explication de l'extraordinaire solidité de pareilles voûtes. Les criques résultant des tassements sont bientôt ressoudées par les infiltrations, et la roche forme ainsi perpétuellement une masse compacte, incessamment reconsolidée.

439 — *Mine de sel gemme de Hallstadt* (Salzkammergut), (fig. 301, 302) (2). — La formation salifère de Hallstadt appartient à

(1) Ce mode d'exploitation est également appliqué dans les mines de sel de Roumanie. A Slanic, l'abatage se fait entièrement à l'aide de haveuses Reska, qui découpent le sel en cubes réguliers de 30 centimètres de côté (Pellé, *Annales*, 8e, X, 289).

(2) Keller, *Annales*, 6e, II, 1.

Digitized by Google

l'étage moyen du keuper. La masse de sel, presque verticale, est enveloppée d'un calcaire marneux. Elle est elle-même très impré

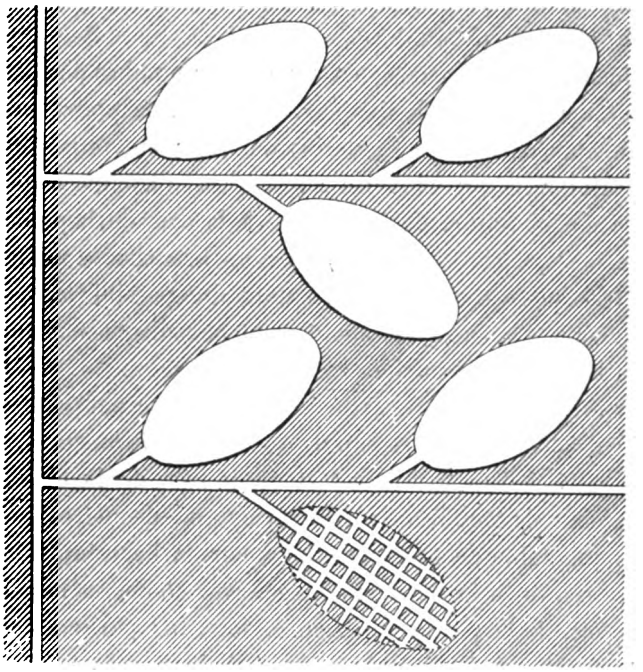


Fig. 301. — Méthode par dissolution du Salzkammergut (coupe horizontale).

gnée de matières terreuses, et ne contient que 70 à 75 pour 100 de chlorure de sodium. Cette circonstance oblige à procéder par dis-

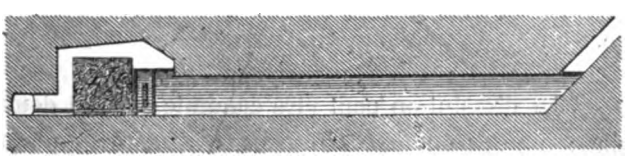


Fig. 302. — Méthode par dissolution du Salzkammergut (coupe verticale).

solution et cristallisation, pour donner au produit une valeur marchande. Dès lors on s'est trouvé tout naturellement amené à pratiquer la dissolution dans le sein même de la montagne, de manière à y abandonner sans déplacement le résidu stérile, et à

Digitized by Google

n'évacuer au dehors que la matière utile avec l'eau qui lui sert de véhicule. La nécessité de confiner ainsi dans des espaces limités cette action dissolvante, a conduit à l'emploi de la méthode des cloisons et estaus (N° 423).

La formation est partagée en un certain nombre d'étages, d'une quarantaine de mètres de hauteur, au moyen de plans horizontaux conduits par chacune des galeries d'écoulement, ou *stollen*, que l'on pratique à des hauteurs successives. Chacune d'elles forme l'artère d'exploitation de la tranche à la base de laquelle elle se trouve. Des galeries secondaires y sont branchées tous les 60 ou 80 mètres, et se correspondent autant que possible en projection d'un étage à l'autre. Elles aboutissent aux diverses chambres de dissolution de cette tranche.

Pour créer une de ces cavités, on commence par rattacher à sa galerie de desserte un réseau de voies en quinconce, divisant en piliers de 3 à 4 mètres de côté toute la base de la chambre, sur une hauteur de 2 ou 3 mètres, une vingtaine de mètres de largeur, une cinquantaine de mètres de longueur. A l'extrémité la galerie d'axe se relève en forme de montage, avec 45 degrés d'inclinaison. Elle reçoit, à la partie supérieure, les eaux pures amenées par la canalisation générale de la mine. A l'aide de digues, percées de conduites que l'on munit de robinets, on ferme le débouché de la chambre, et on la remplit d'eau sans laisser la charge s'élever à plus de quelques centimètres au-dessus du plafond. Sous cette action délayante, les piliers s'affaissent bientôt. On les abat, après avoir vidé la chambre qui se trouve prête alors pour l'exploitation normale.

440 — La dissolution peut être conduite suivant deux modes différents : *continu* ou *discontinu*. Dans la méthode discontinue, qui est la plus ancienne [1], on laisse périodiquement écouler toute l'eau salée, en la remplaçant par de l'eau pure. Avec la marche continue, au contraire, la chambre n'est jamais vide. On ne laisse sortir qu'une partie seulement de l'eau, lorsqu'elle est parvenue à

[1] Les archives de la mine indiquent qu'elle y a été introduite en 1311 par un ingénieur venu de Hall, où elle fonctionnait déjà antérieurement.

Digitized by Google

26 pour 100 de salure, et on la remplace par une quantité équivalente d'eau pure. Le plafond n'est donc jamais à sec, et sa solidité se maintient mieux qu'avec des alternatives.

Toutes les fois que le bain a repris son pouvoir dissolvant par l'introduction d'une certaine quantité d'eau fraîche, il recommence à attaquer le plafond et le pourtour. L'argile, ainsi privée du sel qui lui donnait de la consistance, tombe en boue sur la sole qui s'élève d'autant, tandis que le plafond s'exhausse lui-même. En même temps la chambre s'élargit successivement; car les couches que leur densité maintient à la base étant saturées et ne corrodant plus la paroi, l'augmentation de diamètre ne se produit qu'à la partie supérieure, où surnagent des eaux plus pures et plus dissolvantes.

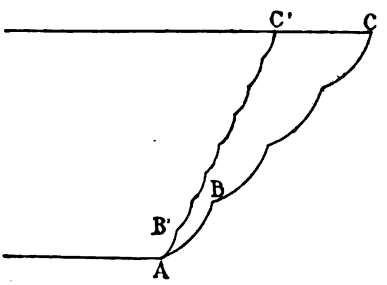


Fig. 303.

Cet élargissement est en outre plus marqué, pour le même motif, au commencement de la période que vers la fin. Il affecte donc la forme AB, et l'ensemble de toutes les opérations, le profil ABC (fig. 303). L'évasement total sera, d'après cela, plus accentué qu'avec la méthode continue, dont la période AB' n'est autre que *la fin* de la période AB, c'est-à-dire la partie la plus redressée de cette courbe. En n'accumulant ainsi que les parties raides de ce diagramme AB, on doit naturellement moins s'élargir que si l'on en fait intervenir tout le développement, y compris ses portions plates. La méthode continue permet donc de serrer davantage les chambres les unes contre les autres, et de mieux utiliser le champ d'exploitation, sans perdre autant par les cloisons.

En ce qui concerne la rapidité de la marche ascendante, elle sera plus grande pour la marche discontinue, qui renouvelle le bain avec de l'eau pure, qu'avec la nouvelle méthode, qui maintient toujours des teneurs voisines de la saturation. Si nous raisonnons dans l'hypothèse de ce mode discontinu, la surélévation du plafond sera

Digitized by Google

pour chaque opération en raison directe de la hauteur actuelle, puisqu'il y a d'autant plus d'eau chargée de coopérer à la dissolution de cette même zone. Il importe donc de commencer l'exploitation sur une hauteur suffisante. La vitesse variera en même temps en raison inverse de la richesse du gîte, puisque la saturation se produira pour une pénétration d'autant moindre. Le nombre des opérations sera d'après cela proportionnel à la teneur du gisement. L'élargissement augmente par suite d'autant, et il est important de ne pas commencer avec des dimensions horizontales exagérées, de peur que l'évasement n'arrive à trop affaiblir les cloisons vers la fin de la propagation en hauteur.

Le mètre cube de saumure revient à 1 fr, 58. Il faut $3^{m3},6$ pour fournir une tonne de sel. Le prix de celle-ci ressort par conséquent à 5 fr, 70; c'est-à-dire à un chiffre peu différent de celui des exploitations des gîtes de sel gemme par le mode ordinaire.

441 — *Mine d'étain d'Altenberg* (Saxe), (fig. 304) [1]. — Le gîte d'Altenberg consiste dans une masse d'elvan, ou de hornsteinpor-

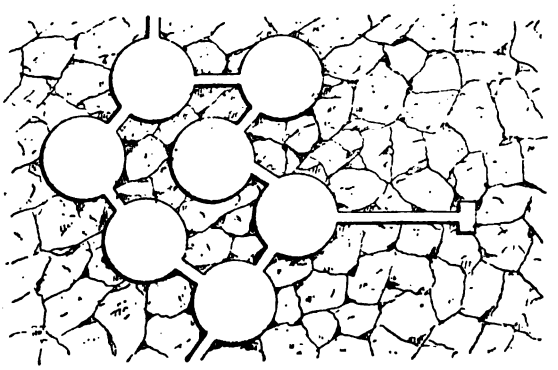


Fig. 304. — Mine d'étain d'Altenberg. Cloisons et estaus (coupe horizontale).

phyr contemporaine de la venue de l'étain, qui l'a imprégnée complètement.

On traite les parties profondes de ce stockwerk par la méthode des

[1] Serlo, *Leitfaden zur Bergbaukunde*, I, 439.

Digitized by Google

cloisons et estaus. Ces derniers sont d'environ 4 mètres d'épaisseur, et séparent des tranches d'exploitation de 12 à 15 mètres de hauteur. On y pénètre avec des travers-bancs partant du puits. On glane dans cet étage, au moyen de chambres de 12 à 18 mètres de diamètre, en furetant dans toutes les directions, pour exploiter les parties riches, et laisser les plus pauvres dans la masse du squelette abandonné.

On s'attache, autant que possible, à faire correspondre d'étage en étage les chambres et les cloisons suivant la verticale. Il est malheureusement difficile, d'après l'irrégularité de ce glanage, de se conformer à cette salutaire prescription. Aussi des crevasses ne tardent pas à se produire, et la mine d'Altenberg a été plusieurs fois (chap. XLVIII, § 2) le théâtre d'effondrements formidables.

Digitized by Google

CHAPITRE XVII

GÉNÉRALITÉS SUR LE FOUDROYAGE

—

§ 1

DESCRIPTION DU FOUDROYAGE

442 — *Foudroyage d'un toit neuf.* — Le second principe fondamental de l'exploitation souterraine consiste à sacrifier l'excavation, quand elle a joué son rôle effectif, afin de ne pas perdre la quantité de minerai renfermée dans les parois qu'il faudrait abandonner si l'on appliquait le principe précédent pour la conservation du vide. On laisse donc tomber le toit, lorsque la matière utile est retirée, et que les hommes sont en sûreté. Ce phénomène a reçu des noms divers, tels que ceux d'*éboulement*, *effondrement*, *tombée*, *écrasée*, *foudroyage*. Les méthodes auxquelles il sert de base seront appelées ici *méthodes de foudroyage* [1].

Cette expression demande cependant à être fixée avec précision, pour ne donner prise à aucune confusion. Dans la première partie de ce siècle, en effet, on exploitait encore certaines houillères en y pratiquant des vides dans lesquels on laissait tomber indéfini-

[1] On les nomme aussi *méthodes d'éboulement*, et même *méthodes de dépilage*. Mais, sans vouloir attacher une rigueur exagérée à l'emploi de ces différents termes, nous réserverons, autant que possible, l'expression d'éboulement pour les accidents fortuits qui viennent surprendre le mineur, bien loin qu'il ait cherché à les provoquer ; et celle de dépilage pour la période qui succède au traçage, dans celles des méthodes, de foudroyage ou de remblayage indifféremment, qui comportent pour le déhouillement ces deux phases distinctes.

Digitized by Google

ment le charbon supérieur susceptible d'y couler de lui-même par éboulement. Avec ce procédé barbare, on est arrivé à compromettre les plus beaux gîtes, en les disloquant au point de les rendre inexploitables, et y développant partout l'incendie. Telle était alors la *méthode de foudroyage*, et l'expression en avait conservé un mauvais renom. Mais nul ne songerait aujourd'hui à faire revivre de pareils errements. Cette dénomination demeure donc sans emploi, et nous pouvons la reprendre pour l'appliquer *à la chute du toit stérile et non de la masse utile*, qui constitue au contraire une formule d'exploitation parfaitement rationnelle.

Il n'est qu'exact cependant de dire qu'elle a incessamment perdu du terrain, depuis une cinquantaine d'années, devant l'emploi du remblai. Mais néanmoins on peut admettre que la plus grande partie du charbon sorti chaque année du sein de la terre, au moment actuel, l'est encore par les méthodes de foudroyage. Le juste rapport d'importance de ces divers principes une fois établi, ainsi que leur adaptation à des circonstances distinctes et bien déterminées (N° 557), on doit les considérer comme destinés à subsister côte à côte, tout comme celui de l'abandon des massifs, sans qu'aucun des trois soit jamais appelé à disparaître.

443 — Les conditions de la tombée sont absolument opposées suivant que l'on se trouve sous un toit neuf ou sous d'anciens éboulis. Envisageons d'abord le cas d'un plafond non remanié.

S'il présente une solidité *moyenne*, capable de se maintenir sans soutènement sur 3 ou 4 mètres de portée, et pendant un temps suffisant, *prévenant* alors de sa chute prochaine par des bruits caractéristiques, ou d'autres symptômes suffisamment nets, les conditions seront aussi favorables que possible pour l'application du principe de foudroyage.

Si le toit se tient mal, ou s'il a le défaut de tomber brusquement, sans avertir par aucun signe précurseur, on le soutient sur des buttes. Ce sont elles ultérieurement qui, en se tortillant et se fendillant, annoncent au mineur que *la charge donne*, en même temps qu'elles en retardent un peu l'écroulement. Un danger plus redoutable consiste dans le renversement des bois, qui se produit

Digitized by Google

parfois soudainement sans laisser aux hommes le temps de se dégager. Il est bon, pour le prévenir, quand on peut craindre des poussées obliques, d'entretoiser les chandelles avec des tendards, au lieu de les laisser isolées. Ordinairement on laisse les pièces de bois prises sous les éboulis. Lorsqu'on le peut cependant, on en retire le plus possible par les procédés qui ont été déjà indiqués (N° 265). On règle d'ailleurs ce soutènement de telle sorte que l'écrasée suive le front de taille à une distance à peu près constante. Si on lui laisse prendre de l'avance, les hommes peuvent courir de grands dangers, et dans tous les cas la taille se trouve démontée. Il s'ensuit un retard pour la rétablir dans son état normal. Quand on redoute un tel accident, on fait des *redoublements* de buttes, en intercalant de nouveaux bois dans les intervalles des files déjà établies.

Si inversement le toit est trop solide, on peut s'abstenir de tout soutènement. Tout au moins, si on l'emploie par prudence, pourra-t-on, avec la réserve convenable, se livrer à la pratique du déboisage. A Pemberton (Lancashire), on voit ainsi le toit se tenir raide jusqu'à 50 mètres du front de taille, après que l'on a retiré les buttes. Ce ne sont d'ailleurs pas là des conditions avantageuses, et l'on doit se préoccuper de déterminer la tombée, une fois que l'espace est absolument libre, sans permettre au vide de se propager ainsi indéfiniment. Il arrive alors, en effet, un jour ou l'autre, que d'anciens plafonds s'affaissent d'un seul coup sur de grandes étendues. De là une énorme vague d'air, capable de faire sortir le grisou de ses repaires; ou quelquefois des refoulements de la masse, susceptibles d'écraser les hommes [1]. En outre, la fatigue du terrain et les tensions qu'elle développe déterminent des déchirements, qui occasionnent des invasions subites de gaz, connues en Angleterre sous le nom de *out-bursts*. Quand on veut abattre un toit aussi résistant, on fait un redoublement le long de la ligne de buttes à laquelle on juge convenable de limiter l'écrasée, on prépare quelques pétards au delà, on déboise toute cette partie, et l'on fait sauter les coups de mine.

[1] Comme à la couche des Littes (Montrambert), en 1888.

Digitized by Google

444 — *Foudroyage d'anciens éboulis.* — Supposons, en second lieu, que l'on repasse sous d'anciens éboulis. Certaines matières sont de nature à faire prise sous l'énorme pression qu'elles subissent, en reconstituant une sorte de roche, équivalente aux anciens toits, ce qui ramène alors à peu près au cas précédent.

Mais, le plus souvent, les matériaux sont durs et ne possèdent aucune tendance à s'agglutiner de nouveau. Lorsqu'on les reprend en sous-œuvre, au bout d'un temps quelconque, on les voit couler directement à l'avancement, sans qu'ils puissent se soutenir sur aucune longueur appréciable. Cette circonstance, diamétralement inverse des données précédentes, est loin d'être considérée comme fâcheuse par le mineur. Il est alors mieux maître des éboulements, dont il connaît l'allure, sans avoir à se préoccuper des inconnues d'un toit neuf. On modère d'ailleurs cette coulée, en n'abattant le faîte que sur une étendue aussi restreinte qu'il sera nécessaire; en lui opposant, soit en couronne, soit latéralement, une planche de charbon, dont on abandonne ce qui ne pourra être retiré sans danger; ou en dressant des murs en pierres sèches avec les matériaux de l'éboulement lui-même. Le talus de l'éboulis sert même parfois au piqueur à s'échafauder pour attaquer la couronne.

Cette appréciation est tellement fondée que, dans certaines mines, où l'on retardait autrefois autant que possible, c'est-à-dire pendant deux ou trois ans, la rentrée sous les éboulements, pour leur donner le temps de refaire prise, on est ensuite passé d'un extrême à l'autre en y revenant le plus tôt possible. Cette pratique est surtout à conseiller lorsqu'on est exposé aux incendies, *avec le feu sur la tête*, ce qui constitue le cas le plus fâcheux de tous. La nouvelle tombée a, dans ce cas, pour effet de rafraîchir les matières qui ont commencé à s'échauffer, et de prévenir leur inflammation.

Digitized by Google

§ 2

EFFETS DU FOUDROYAGE EN HAUTEUR

445 — Parmi les effets du foudroyage, le premier qui se présente à la pensée est la dislocation de la surface (1). Mais, à cet égard, on a signalé une distinction en ce qui concerne le degré de profondeur.

Le toit se fragmente en tombant. Les morceaux, loin de s'emboîter exactement les uns dans les autres, de manière à reprendre leurs anciennes situations relatives en occupant un espace égal, produisent des enchevêtrements quelconques, et il en résulte presque toujours, malgré les tassements progressifs qui se produisent ensuite dans ces matières ameublies, une augmentation définitive du volume général, appelée *foisonnement* (2). Dans ce cas, la propagation de l'éboulement en hauteur ne saurait être indéfinie, puisqu'il ne s'agit que d'un vide limité à remplir par cette dilatation de la masse éboulée. L'importance de la fragmentation va en s'atténuant peu à peu, et l'on peut arriver à une zone qui ne présente plus que quelques éclatements, sans descente appréciable de la masse. Au-dessus, enfin, le terrain reste inaltéré.

D'après cela, selon que le sol naturel se trouverait dans l'un ou l'autre de ces horizons, il serait affecté d'une manière variable. On en a conclu que si le foudroyage, appliqué à d'assez faibles profondeurs, a pour effet inévitable de bouleverser la surface, il peut la respecter, au contraire, lorsque l'exploitation s'enfonce suffisamment (3).

(1) H. Fayol, Note sur les mouvements du terrain provoqués par l'exploitation des mines, *Bull. min.*, 2e, XIV.

(2) M. H. Fayol a fait sur le foisonnement des expériences intéressantes, *Bull. min.*, 2e, XIV, 816.

(3) On peut citer à l'appui de ces vues l'exemple suivant. Dans une partie des mines de Lens, les étages inférieurs avaient été disposés en vue du remblayage, mais l'étage supérieur a été pris par foudroyage; circonstance paradoxale en apparence, puisque cette zone est précisément la plus critique, et expose par son éboulement au danger de la rupture des dièves, qui protègent les travaux contre les eaux des morts-terrains Mais cette pratique se justifiait à ce dernier point de vue, en ce que l'on se trouvait suf-

Digitized by Google

Il est facile de traduire cette influence par une formule très simple. Supposons que chaque mètre cube de roche en place en occupe n après sa fragmentation ; n constituera le *coefficient de foisonnement*. Soit h la hauteur du chantier, et H celle de la propagation en hauteur. Le volume H, situé au-dessus d'un mètre carré de projection horizontale, deviendra nH par son expansion. Il devra occuper alors, tout à la fois, son ancien emplacement H, et en outre l'excavation h qui se trouve comblée par ce foudroyage. On peut donc poser l'équation :

$$nH = H + h,$$

d'où l'on tire :

$$H = \frac{h}{n - 1}. \tag{1}$$

Il importe toutefois de constater que cette valeur de H croît au delà de toutes limites lorsque n tend vers l'unité. La dislocation des terrains s'étendra par suite indéfiniment si leur nature argileuse ou sableuse est de nature à faire disparaître l'influence du foisonnement.

Il semble en outre que le phénomène qui vient d'être décrit soit fréquemment suivi d'une seconde phase, encore plus dangereuse pour la superficie. A partir du moment où l'éboulement atteint une hauteur suffisante pour qu'il n'existe plus de cavité souterraine proprement dite, le tassement ultérieur des matières ainsi ameublies peut produire un effet analogue à celui que nous signalerons à propos des méthodes de remblayage (N° 483) ; toute la masse des terrains supérieurs s'affaissant d'un seul bloc au fur et à mesure

fisamment armé contre une telle éventualité en raison de l'épaisseur de ces argiles, connue à l'avance par les sondages. On trouvait d'ailleurs à cette combinaison l'avantage d'éviter la construction et l'entretien d'une voie de roulage, ouverte à la tête de la couche sous le tourtia. Cette galerie eût été, sans cela, nécessaire pour introduire le remblai, qui doit toujours circuler en descendant ; tandis que dans les autres étages, on profite, pour la circulation des terres destinées à chacun d'eux, de la voie de fond de l'étage supérieur. Sur d'autres points du même bassin, au contraire, on ne craint pas d'abandonner sous le tourtia un massif de protection de 10, et même 20 mètres de relevée, quand on redoute de voir la propagation de la dislocation franchir l'épaisseur des dièves, trop amincies dans ces régions.

Digitized by Google

de cette compression. Dans ces conditions, quelle que soit la profondeur des travaux, le bouleversement de la surface pourra devenir notablement plus important qu'il n'eût été avec l'emploi des remblais.

446 — Si, au lieu d'une formation horizontale, on exploite une couche inclinée, on pourrait parfois, d'après ce que nous avons dit plus haut, avoir dans le voisinage de l'affleurement une zone disloquée, et à une distance suffisante un sol inaltéré. La limite qui les sépare résulte du calcul suivant.

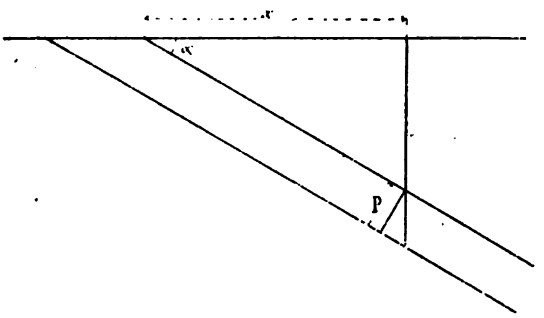


Fig. 305.

Appelons x sa distance à l'affleurement (fig. 305), p la puissance normale de la couche, et α son plongement. Sur un mètre carré de projection horizontale que l'on envisagerait précisément à cette limite, l'épaisseur du recouvrement, et par suite le volume qui surmonte le mètre carré, ont pour valeur : x tang α. Ce volume devient par le foisonnement nx tang α, et doit alors occuper la somme de son ancien emplacement x tang α, et de la traversée verticale $\frac{p}{\cos \alpha}$ de la couche; d'où l'équation :

$$nx \text{ tang } \alpha = x \text{ tang } \alpha + \frac{p}{\cos \alpha}.$$

On en déduit :

$$x = \frac{p}{(n-1) \sin \alpha}.$$

La largeur de la zone disloquée est donc en raison de la cosécante de l'inclinaison.

Digitized by Google

§ 3

AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DU FOUDROYAGE

447 — Le principe du foudroyage offre sur celui de l'abandon l'avantage d'éviter en théorie la perte pure et simple qui est inhérente à ce dernier; et, sur le principe du remblayage, celui de supprimer le chapitre spécial de dépenses relatif au remblai. Mais, en revanche, il présente un grand nombre d'inconvénients.

C'est, en premier lieu, le danger évident auquel il expose les hommes, malgré toutes les précautions prises, lesquelles sont elles-mêmes d'ailleurs une occasion de dépenses. La statistique des accidents accuse en effet une différence sous ce rapport entre les mines exploitées par foudroyage ou d'après les deux autres principes.

C'est, en second lieu, le gaspillage d'une partie du gisement; on ne peut en effet admettre qu'en théorie pure la possibilité d'effectuer, avant l'écrasée, l'enlèvement complet du minerai. Dans la réalité, l'on se trouve souvent contraint par la prudence la plus élémentaire à se retirer avant d'avoir pu obtenir ce résultat. La perte reste, bien entendu, beaucoup moins grande qu'avec le premier principe, mais plus importante cependant qu'avec l'emploi du remblayage.

Comme corollaire, les méthodes de foudroyage exposent aux incendies avec les combustibles inflammables, en raison de la fermentation des résidus emprisonnés dans les éboulis. Ces matières s'échauffent progressivement, et finissent par prendre feu, en communiquant l'embrasement de proche en proche. Cette circonstance peut encore se produire, lors même que l'on aurait réussi à enlever la totalité du combustible, si le toit renferme des lits de schiste houiller inflammable.

Le principe du foudroyage est également contre-indiqué dans les charbonnages grisouteux. En effet les éboulis se disposent au hasard, et laissent entre eux d'énormes vides, dans lesquels se concentre le mauvais air. Les Anglais désignent sous le nom de

Digitized by Google

goaf ce réservoir dangereux, formé par les anciens travaux. Au contraire, avec des remblais disposés de main d'homme, et aussi serrés qu'on le jugera nécessaire, on a l'avantage de restreindre beaucoup ces espaces nuisibles, et même de les supprimer complètement lorsque la charge donne et vient ultérieurement comprimer une masse suffisamment plastique.

Ajoutons à cette liste d'inconvénients la difficulté d'entretenir au milieu du goaf des voies de communication, qui exigent alors beaucoup plus d'entretien que dans le ferme, et laissent, quoi qu'on fasse, tamiser à travers les éboulis une grande partie du courant d'air, lequel, abandonnant les circuits voulus, se dirige de lui-même par la voie la plus courte vers le point de sortie. De là, un assujettissement dont il sera nécessaire de tenir compte dans l'institution des méthodes de foudroyage.

§ 4

DIRECTION A DONNER AU FOUDROYAGE

448 — *Direction du foudroyage.* — La marche du déhouillement ne saurait être abandonnée à l'arbitraire, et doit procéder d'une manière déterminée.

Si le gîte est puissant, et divisé en tranches horizontales ou inclinées, il faut les prendre dans l'ordre descendant. La raison en est évidente. Si l'on opérait autrement, le foudroyage de la première tranche détruirait d'un seul coup toutes les autres; tandis qu'une tranche inférieure n'est nullement affectée par le dépècement de celles qui la surmontent verticalement.

Il est clair d'ailleurs que rien n'oblige, dans l'observance de cette précaution, à terminer complètement une tranche sur tout son développement, avant de passer à celle qui lui est subordonnée. Il suffit d'observer la règle précédente pour chaque élément de la projection horizontale. Dès qu'une tranche se trouve déhouillée dans une étendue suffisante, et que son toit est éboulé, rien n'empêche en principe, si l'on y trouve quelque avantage, d'attaquer immé-

Digitized by Google

diatement pour cette région la tranche inférieure, tout en poursuivant les avancements de la première suivant son propre plan.

449 — Lorsque le gîte est mince et redressé, ou qu'il s'agit d'une tranche inclinée, envisagée à part dans l'exploitation d'une masse puissante, le déhouillement doit reculer de l'amont-pendage vers l'aval-pendage. D'une part, c'est en raison du motif qui vient d'être invoqué tout à l'heure, à savoir que l'enlèvement des parties inférieures compromet celles qui leur sont supérieures, tandis que la réciproque n'a pas lieu.

Mais il existe en même temps un autre motif. Le roulage doit, d'après un principe constant, s'effectuer autant que possible en descendant. De plus, nous avons signalé la difficulté de maintenir des voies de transport à travers l'éboulement. Il faut donc que l'aval-pendage du chantier soit occupé par le ferme, et que, comme conséquence, le goaf se trouve à l'amont-pendage.

Le même motif dicte la marche à suivre dans le sens de la direction. Il faut, avec les méthodes de foudroyage, dépiler *en reculant, en battant en retraite à partir des limites du quartier*, afin que les voies qui séparent le chantier de la base d'opérations, c'est-à-dire du plan incliné, se trouvent en plein massif et non dans les éboulis [1].

450 — Il suit de ce qui précède que les premiers piliers tracés seront les derniers dépilés, puisque le traçage commence à la base d'opérations, tandis que le dépilage revient s'y terminer en retraite.

Pour rendre les massifs capables de supporter ce maximum de durée, il faut donc soigner particulièrement cette partie du traçage, attendu que ces piliers, plus fatigués que les autres, donnent ensuite plus de menu, et présentent plus de dangers pour leur

[1] Ce principe est d'un usage universel. Cependant il ne saurait être pris pour un axiome, incapable de plier devant des convenances opposées. On peut même dire que les dérogations à cette formule se rencontrent surtout dans les modifications les plus récentes des méthodes anglaises. Nous en verrons plusieurs exemples : massifs longs avec dépilage transversal en décrochements (N° 461) ; *piller and stall with single or double stall* (N° 462) ; *longwall working outwards* (N° 464).

Digitized by Google

dépilage (N° 409). Par-dessus tout, l'on doit proscrire énergiquement un abus auquel ont troq souvent conduit des convenances commerciales, et qui consiste à refendre les premiers piliers pour se procurer du charbon, avant que le traçage ait atteint les limites du quartier et permette de commencer un dépilage normal et suffisamment productif.

Le moyen d'obvier à cette difficulté est tout différent. Il consiste à insister sur la division du champ d'exploitation en quartiers attaqués séparément, de telle sorte que ceux-ci, étant plus restreints, durent moins longtemps, et que le traçage en atteigne plus rapidement la périphérie. Il faut, en second lieu, élargir les mailles de ce traçage, au lieu de perdre du temps à les multiplier. On y gagne à la fois la vitesse pour atteindre les limites du quartier; la solidité des piliers, pendant cette première phase; et la réduction à son minimum de la période de traçage, durant laquelle le rendement du piqueur reste inférieur à ce qu'il deviendra lors du dépilage. La tendance s'accentue aujourd'hui dans ce sens, et l'on enlève au plus 30 pour 100 du gîte par le traçage, en reprenant 70 pour 100 en dépilage.

451 — Les tracés à mailles serrées sont appelés réseaux à *massifs courts*, et ceux du second type : réseaux à *massifs longs*. Dans les premiers, le pilier présente la forme carrée, ou celle d'un rectangle qui s'en rapproche. L'ensemble par conséquent reste, sauf les dimensions, analogue aux dispositifs représentés par les figures 284 et 285. Avec les autres, au lieu d'amplifier le pilier dans tous les sens à la fois, on lui laisse une largeur limitée, tandis que l'on s'avance indéfiniment en longueur, suivant la direction perpendiculaire à la base d'opérations, avant de rabattre vers elle en dépilant à partir de l'extrémité. On retrouve ainsi le type des piliers longs, qui nous est déjà connu (N° 421).

Le premier système est appliqué moins fréquemment que le second dans les charbonnages, attendu qu'indépendamment des inconvénients généraux que nous venons de lui reconnaître, il complique beaucoup l'aérage et fatigue le charbon.

En revanche il est très répandu dans les mines de fer, qui n'ont

Digitized by Google

pas de grisou, et présentent beaucoup plus de solidité que les gîtes de combustible.

452 — *Méthodes de foudroyage.* — Ces considérations vont nous permettre d'esquisser, dès à présent, la division rationnelle que nous pouvons introduire dans les méthodes de foudroyage.

Nous distinguerons avant tout les gîtes minces et les gîtes puissants; c'est-à-dire l'exploitation en une seule, ou en plusieurs tranches.

Pour les gîtes minces, nous envisagerons trois degrés successifs, suivant l'importance relative du traçage par rapport au dépilage. Quand elle atteint son maximum, elle obtient la méthode des massifs courts; celle des massifs longs, lorsqu'elle est très tempérée. Enfin nous désignerons, avec les ingénieurs anglais, sous le nom de *longwall*, un type beaucoup plus moderne, dans lequel le traçage arrive à s'atténuer presque complètement, et même à disparaître tout à fait.

Avec les gîtes puissants, il y aura lieu de distinguer deux cas, selon que la subdivision en tranches sera effectuée à l'aide de plans conduits parallèlement à la stratification, ou de plans horizontaux.

En résumé donc, nous rattacherons toutes les applications du foudroyage aux cinq méthodes fondamentales qui sont comprises dans le tableau suivant :

PRINCIPE DU FOUDROYAGE	GÎTES MINCES	MÉTHODE DES MASSIFS COURTS.
		MÉTHODE DES MASSIFS LONGS.
		MÉTHODE DU LONGWALL.
	GÎTES PUISSANTS	MÉTHODE INCLINÉE.
		MÉTHODE HORIZONTALE.

Digitized by Google

§ 5

CHAMBRES D'ÉBOULEMENT

453 — Avant de passer à la description systématique de ces méthodes, je terminerai ces généralités en décrivant les *chambres d'éboulement*; seul vestige qui subsiste aujourd'hui des anciennes méthodes fondées sur le foudroyage de la masse exploitable, et non du toit, qui reste étranger au but essentiel de l'exploitation.

On ne les rencontre plus, en ce qui concerne des minerais proprement dits, que dans quelques parties d'anciennes mines effondrées, comme à Fahlun (Suède) et Altenberg (Saxe), ou dans certains quartiers de Rancié (Ariège). On n'a pas alors, en effet, à redouter de produire les inconvénients qui ont fait renoncer définitivement à ce mode d'exploitation, puisqu'ils ont été dès longtemps consommés par la catastrophe qui a réduit ces masses à l'état chaotique. Il ne reste plus aujourd'hui qu'à y glaner ce que l'on pourra, en se glissant au travers des éboulis, et faisant couler ce qui peut descendre dans les places de sûreté relative où le mineur s'installe pour les y appeler, souvent avec une extraordinaire hardiesse. Ce système achève de disparaître; mais, en 1806, Héron de Villefosse rencontrait encore 130 semblables ateliers à Altenberg.

On peut rattacher au principe des chambres d'éboulement la méthode d'exploitation de certaines *glaisières* des plaines de Vanves et d'Issy près Paris, qui se développent dans une puissante formation d'argile et avec lesquelles on laisse, par l'effet naturel du tassement, la masse plastique remplir les vides pratiqués. Les ouvriers reviennent ensuite creuser de nouvelles galeries autour du même puits [1].

Lorsqu'il s'agit de se procurer des remblais stériles, les chambres d'éboulement constituent un organe de production, peu usité à la vérité, mais cependant théoriquement admissible. On en rencon-

[1] Ces glaisières ont donné lieu à des apparitions grisouteuses, et à un coup de feu très grave en 1894 (Humbert, *Annales*, 1895).

Digitized by Google

trait par exemple dans la mine de pyrite cuprifère d'Agordo (Haute-Vénétie), et dans les houillères de Beaubrun, de Villebœuf, et de la Béraudière. On les établit en s'enfonçant résolument dans les masses du toit, car on ne saurait évidemment songer à disloquer ainsi le mur du gisement [1]. Je décrirai, comme exemple, les chambres d'éboulement de la Béraudière.

454 — A partir de la galerie d'allongement A (fig. 306) placée au toit de la couche, on s'avance dans la roche par deux travers-bancs

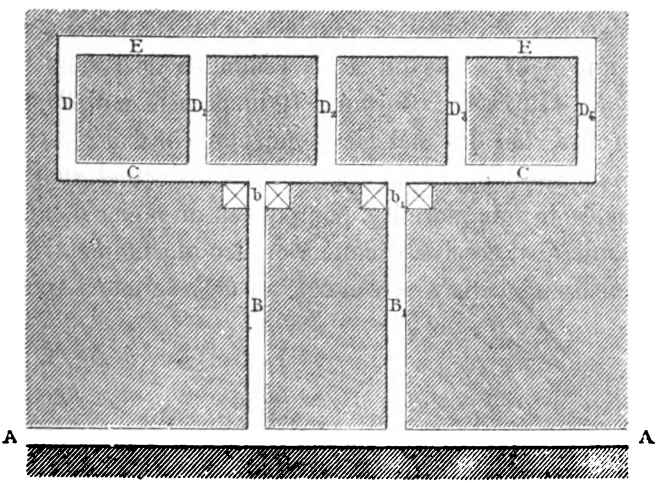


Fig. 306. — Chambre d'éboulement (coupe horizontale).

d'une longueur suffisante B, B_1. On établit à leurs extrémités deux têtes de boisage b, b_1, en très forte charpente, puis une galerie C perpendiculaire, quelques avenues $D, D_1, D_2, \ldots$, et enfin une recoupe générale E au revers. On pratique dans les piliers une certaine quantité de fourneaux, et l'on fait sauter le tout. On retire alors par B, B_1, en se protégeant à l'aide des têtes b, b_1, tout ce qui se trouve à portée, et successivement les matières qui viennent couler spontanément dans le vide, tant que la chambre continue à *cracher*.

[1] Dans la mine de Hrasdigg (Styrie), on exploite au mur de la couche de lignite un banc stérile pour remblayer par foisonnement les vides.

Digitized by Google

Quand elle se ralentit, il faut la remettre en mouvement au moyen de coups de mine pratiqués dans ceux des blocs qui paraissent arc-bouter la masse. On se protège avec quelques bois; mais ce n'en est pas moins une opération qui peut être classée parmi les plus périlleuses. Du reste il est alors préférable, pour peu que la chambre ait déjà beaucoup donné, de la fermer et d'en pratiquer une nouvelle sur un point différent. Il est arrivé en effet à Beaubrun, qu'en insistant trop sur certaines chambres, on les a fait percer au jour, en déterminant ainsi des fontis par lesquels des torrents de boue sont venus noyer des quartiers de la mine.

Cette dernière circonstance n'est pas, du reste, en contradiction avec ce que nous avons dit de la limitation de l'éboulement en hauteur (N° 445), car la formule (1) suppose essentiellement que l'on ne retire rien des matériaux qui tombent dans le vide de la taille. Il faudrait donc, pour l'appliquer au cas actuel, supposer que h, c'est-à-dire le volume retiré, non plus en un même moment mais d'une manière successive, vienne à croître indéfiniment. Dès lors, la hauteur H augmentera de son côté au delà de toutes limites.

Digitized by Google

CHAPITRE XVIII

MÉTHODES DE FOUDROYAGE

—

§ 1

METHODE DES MASSIFS COURTS

455 — *Traçage en direction et inclinaison.* — La méthode des massifs courts consiste à quadriller le quartier par un réseau de galeries rectangulaires, à mailles relativement serrées, et plus ou moins rapprochées de la forme carrée, c'est-à-dire, sauf la dimension, du type des piliers tournés et non des piliers longs (N° 420, 421). On dépile ensuite en retraite, à partir de la périphérie du quartier.

Nous distinguerons dans le traçage deux systèmes différents : 1° le mode *en direction et inclinaison*; 2° le mode *en demi-pente.*

Le mode en direction et inclinaison est incomparablement plus répandu que le second. Il porte, en Angleterre, le nom de *pillar and stall,* ou encore *board and pillar.* On le rencontre dans un grand nombre de gîtes de fer(1), avec des galeries de 5 à 6 mètres et des piliers d'une vingtaine de mètres. Il s'applique aussi dans beaucoup de houillères, surtout en Angleterre, où il est devenu pour certaines régions tout à fait classique(2). Les piliers y présen-

(1) Mazenay (Saône-et-Loire) (Poizot, *CRM*, 1883, 238); Le Travers (Gard), Hussigny (Moselle), etc.

(2) Par exemple, la plupart des houillères du bassin de Newcastle, sur lesquelles on trouvera beaucoup de renseignements dans l'intéressante relation du voyage de mission en Angleterre de MM. Pernolet et Aguillon pour la Commission du grisou, que nous

Digitized by Google

tent 25 mètres sur les deux faces, qui sont susceptibles de grandir jusqu'aux dimensions de 120 mètres sur 60. On trace, soit directement l'étendue entière du champ d'exploitation[1], soit plutôt des fractions ou quartiers distincts de ce champ, qui prennent le nom

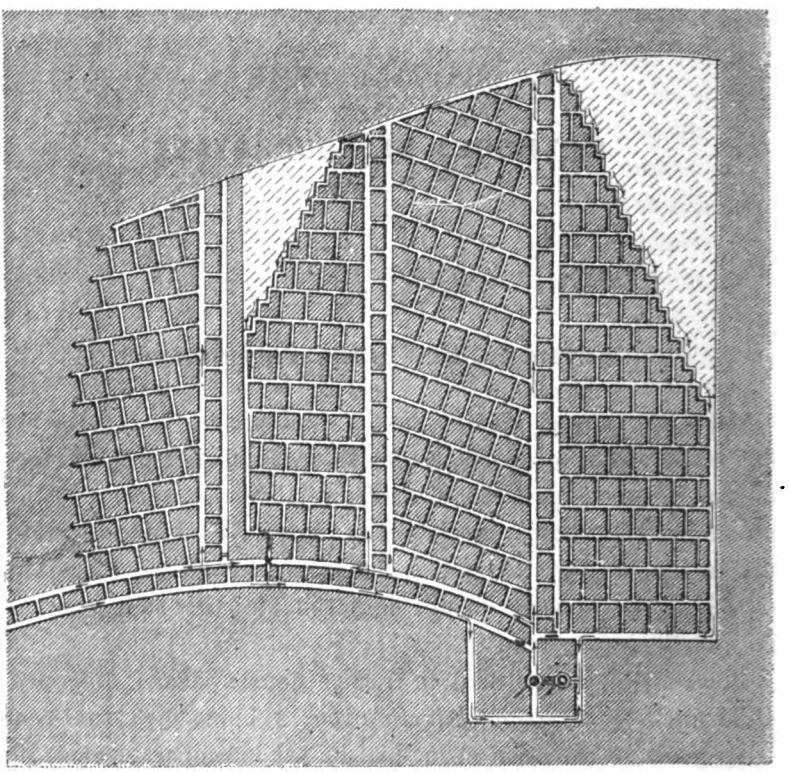


Fig. 307. — Méthode des massifs courts. Couche Ell Coal (Allanshaw, Écosse) (coupe par le plan du gîte).

de *pannels* (fig. 307). Tantôt ces districts sont absolument contigus[2], et ne constituent qu'un fractionnement de l'exploitation générale; tantôt ils sont séparés par des massifs isolants de 20 à

avons souvent mise à contribution. Je citerai également les charbonnages de Hovaiski, Pouliakow, dans le bassin de Donetz (Russie); la mine de lignite de Britannia, à Mariaschein (Bohême), etc. Aux Plamores (Buxière-la-Grue, Allier) on emploie un traçage étroit dans le charbon en ménageant des piliers de 10 mètres.

(1) Comme à Blantyr (Écosse).

(2) A Ryhope, à Silksworth, à Haswell (Durham).

Digitized by Google

30 mètres[1], qui réalisent une protection de ces chantiers les uns contre les autres au point de vue des accidents. C'est spécialement à cette dernière disposition que nous réserverons dans la suite le nom de *panneaux*, pour désigner les divers districts d'un champ d'exploitation. Les bandes intermédiaires sont à leur tour tracées et dépilées, après l'entier déhouillement des panneaux interposés. La largeur des galeries varie, suivant le degré de solidité, de 2 mètres à 4 ou 5 mètres.

456 — Le dépilage se fait par enlevures contiguës, ou *juds*, disposées suivant l'inclinaison (fig. 308). Leur largeur en direction varie depuis quelques mètres jusqu'à 10 mètres. On détruit ainsi progressivement le pilier de la même manière que le rabot dépèce le bois. Le travail se fait ordinairement en montant[2]. Mais on a soin, à cause du grisou, de laisser toujours ouverte, à côté de l'enlevure en voie de percement, celle qui lui est contiguë, et parfois même une seconde. Elles sont soutenues chacune par une ou plusieurs lignes de buttes, suivant leur longueur. On détermine l'éboulement de la plus ancienne enlevure, lorsqu'on vient de terminer la dernière, et que l'on va

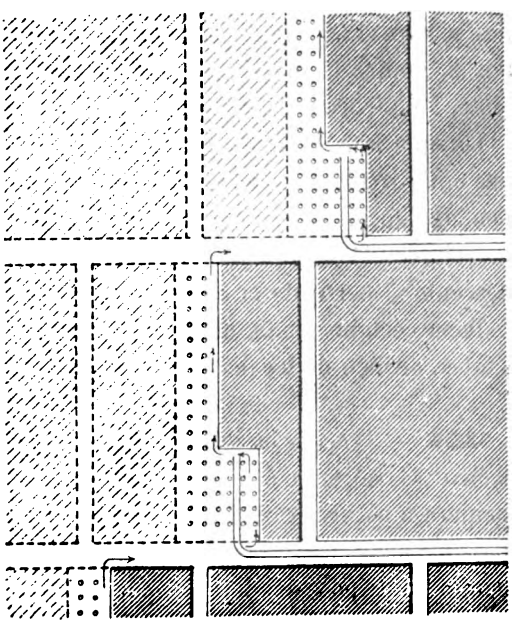


Fig. 308. — Dépilage des massifs courts (Ryhope, Durham) (coupe horizontale).

(1) A Murton, à Eppleton (Durham), à Allanshaw (Écosse).
(2) Comme à Ryhope.

Digitized by Google

en attaquer une nouvelle. Si l'ouvrage s'écroule prématurément, on sacrifie, pour se garantir des éboulis, une planche de charbon. On perce un montage à son revers, et l'on recommence une nouvelle série.

La figure 308 suppose que le plan incliné se trouve à droite et la limite du quartier à gauche, de manière que l'amont-pendage recule, dans chaque sous-étage, avec une certaine avance sur l'aval.

Lorsque l'aérage par diffusion peut suffire, dans les mines non grisouteuses, la taille se monte en cul-de-sac, avec une faible relevée, et on laisse la tombée se produire sur toute la largeur du chantier, avant d'attaquer le suivant. Celui-ci reste protégé contre la coulée des pierres du premier par une ligne de buttes que l'on a soin de laisser contre le massif, au moment où l'on déboise, s'il est possible, l'enlevure précédente.

Lorsque le toit est mauvais, on diminue de moitié la longueur des enlevures[1] en prenant, comme il vient d'être expliqué, l'aval-pendage du pilier en montant, mais seulement jusqu'au milieu de la relevée, et attaquant en même temps la seconde moitié en descente, à partir de la costresse supérieure.

Dans certains cas[2], on procède au dépilage par enlevures chassantes, au lieu de les disposer suivant l'inclinaison.

457 — *Traçage en demi-pente.* — Ce mode, rarement employé, trouve sa raison d'être dans l'emploi du traînage au moyen de paniers à patins (N° 607), si le gîte est trop redressé pour qu'il soit possible d'effectuer cette opération suivant la ligne de plus grande pente. On dispose dès lors les galeries de traînage en voies thiernes. Ce traçage comporte à son tour deux variantes distinctes, selon qu'un seul des systèmes de voies est mis en diagonale, l'autre restant en direction; ou que tous les deux se trouvent à la fois en demi-pente.

Le premier dispositif se voit dans la couche des Trois Bancs, aux

(1) Comme à Allanshaw, à Haswell, à Murton,

(2) Charbonnages du Hasard (Liège); de la Nord-Bahn, à Mährish Ostrau; du puits Magran, à Kladno.

Digitized by Google

mines d'anthracite de la Mure (Isère)(¹), dont la figure 309 représente la méthode d'exploitation. L'étage, de 25 mètres de relevée, est compris entre deux galeries-maîtresses. On le partage en sous-étages de la manière suivante. On branche normalement tous les 50 mètres sur la voie de fond une diagonale, qui après un crochet à angle droit, formant gare d'embarquement des panières dans les wagonnets, s'élève en biais jusqu'au sommet de l'étage. Puis on détache de cette diagonale des costresses qui dessinent les divers lopins.

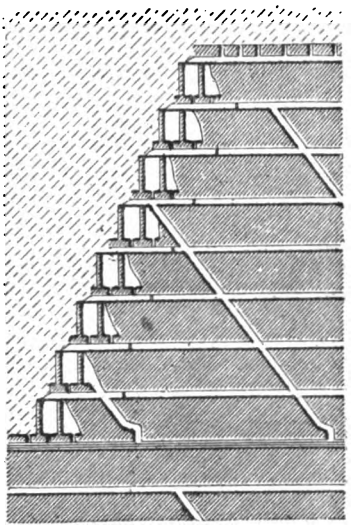


Fig 309. — Méthode en demi-pente (La Mure, Isère) (coupe par le plan du gîte).

Chaque sous-étage est dépilé par enlevures contiguës, disposées suivant l'inclinaison, en préservant le chantier contre les éboulis par une planche d'anthracite

458 — Dans la seconde variante(²), les côtés du lopin sont incli-

(¹) *Annales*, 3ᵉ, IX, 427 ; 4ᵉ, XV, 519; 7ᵉ, IV, 56 ; XVIII, 121. — *Bull. min.*, 1ʳᵉ, II.

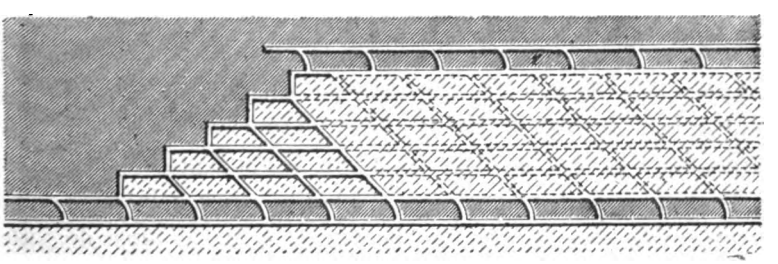


Fig. 310. — Méthode en demi-pente (Bessèges) (coupe par le plan du gîte).

616. On le rencontre également dans certaines parties grisouteuses des houillères de Bessèges (Gard) (fig. 310).

(²) Employée dans les houillères de Rochesadoule (Gard), dans les parties non grisouteuses de Bessèges, sur des développements de plus de douze cents mètres à

Digitized by Google

nés tous les deux à 45 degrés par rapport à la ligne de plus grande pente (fig. 311). Sur la voie de fond A, qui caractérise l'étage, on branche, tous les 25 mètres, des remontées d'environ 4 mètres. B_1, B_2, B_3,..., qui se détachent normalement, pour éviter les angles aigus, aux petites gares d'embarquement du traînage dans la galerie du roulage par chevaux, mais se recourbent de suite en demi-pente.

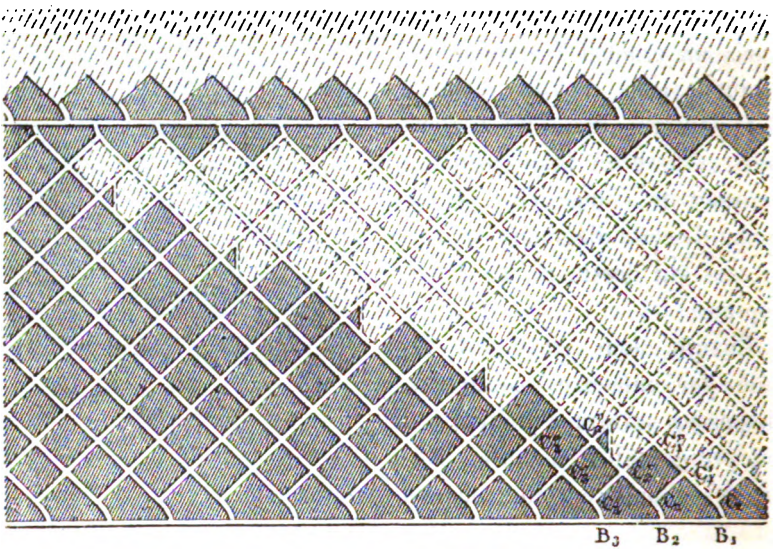


Fig. 311. — Méthode en demi-pente (Bessèges) (coupe par le plan du gîte).

A partir d'une distance de 5 mètres, on insère tous les 15 mètres, sur chaque remontée, des coupements C_1, C'_1, C''_1,...; C_2, C'_2, C''_2,.... inclinés en sens contraire. On procède ainsi jusqu'au sommet de l'étage, qui a de 100 à 180 mètres de relevée. Tel est le traçage, qui présente, à la vérité, l'inconvénient d'imposer à l'air un certain parcours en *rabat-vent*, c'est-à-dire en descendant[1].

On donne, dans le dépilage, quelque avance à la zone supérieure sur la seconde, à celle-ci sur la troisième, et ainsi de suite.

partir du débouché de la galerie au jour; et dans les mines de lignite de Calaf (Catalogne).

[1] Aussi réserve-t-on, à Bessèges, la première variante pour les parties grisouteuses, comme le montre la figure 310, tandis que le dispositif de la figure 311 est usité dans les régions exemptes de gaz.

Digitized by Google

Quant à la plus basse, elle est réservée comme massif de protection de la voie de fond, dont la conservation est nécessaire pour l'exploitation de l'étage inférieur; car elle formera alors le retour d'air, en intervertissant le rôle qu'elle joue actuellement dans la ventilation. On ne déhouille cette dernière zone de l'étage supérieur qu'en même temps que la première de l'étage inférieur, en détruisant de proche en proche la galerie qui les sépare.

Le dépilage de chaque lopin se fait par enlevures contiguës, que l'on dispose, selon les cas, parallèlement aux coupements ou suivant la ligne de plus grande pente.

§ 2

METHODE DES MASSIFS LONGS

459 — *Traçage.* — Pour éviter les inconvénients des massifs courts, on se trouve conduit à leur substituer des piliers longs (N° 451). Ceux-ci peuvent être disposés de trois manières différentes : en direction dans l'immense majorité des cas,, en inclinaison (1), ou, pour des occasions très rares, en demi-pente (2). Leur configuration présente deux modes distincts, que nous appellerons le *traçage français* et le *traçage anglais*. Ces variantes sont motivées par les différences générales qui séparent les formations houillères des deux pays (N° 411).

Le traçage français (3) s'emploie particulièrement si le toit est médiocre (fig. 312). La galerie qui sépare les massifs longs est alors très restreinte, et le pilier beaucoup plus large. De plus, on ne s'étend qu'à une distance modérée du plan incliné.

Le traçage anglais, ou *long work* (4), est suivi de préférence,

(1) Dan es parties les plus plates du bassin de Sarrebrück et à Königsgrube.

(2) Laurahütte (Silésie) ; avec dépilage chassant.

(3) Ahun (Creuse); la *première brûlante* de la Béraudière; Bruay (Pas-de-Calais); Roche-la-Molière (Loire), avec de beaux chantiers de 15 mètres de relevée. et 3 à 5 mètres de puissance pris en une seule tranche; les districts de Zwickau (Saxe); Bochum (Westphalie); Orlau (Haute-Silésie) ; Szekul, Doman (Banat); Salgotayau (Hongrie); Witcowitz (Moravie), la mine de la Nordbahn à Zarübek (Moravie).

(4) Oaks-Colliery (Yorkshire); Outwood. Pendlebury (Lancashire); etc.

Digitized by Google

quand le toit et le charbon sont solides (fig. 313, 314). On donne alors à la galerie une largeur comparable à celle du pilier, dans le but de faciliter l'abatage et d'augmenter le rendement du piqueur. Mais on laisse des massifs de protection le long du plan incliné, pour assurer sa conservation, et l'on ne les traverse que sur la largeur nécessaire au roulage et à la ventilation. Ces massifs ne disparaissent qu'avec le plan lui-même, au moment d'abandonner le quartier. Après leur évasement, les galeries présentent par exemple 5 mètres de largeur, pour des pleins de 10 mètres.

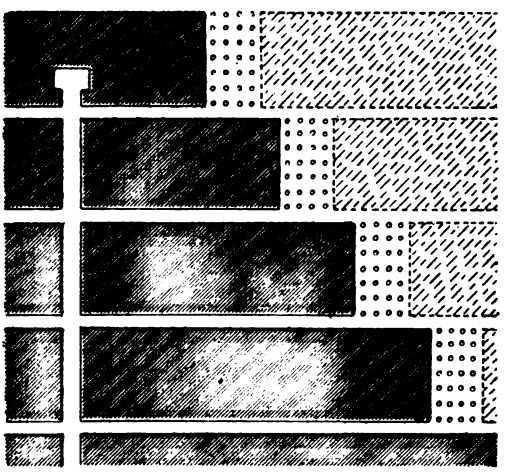


Fig. 312. — Méthode des massifs longs (traçage français) (coupe par le plan du gîte).

Quant à leur longueur, elle est arbitraire et parfois poussée à d'incroyables exagérations, lorsque les circonstances sont favorables. On en rencontre en Angleterre qui atteignent 1600 mètres; mais, dans ce cas, le traçage se dénature complètement, et l'on voit la largeur du pilier atteindre de son côté des valeurs de 100, 200 et même 280 mètres, en plateure très peu inclinée. Dans ces conditions, le pilier prend une telle importance, qu'on peut le considérer à son tour comme un véritable panneau, dont le dépilage se fait à l'aide d'un sous-traçage en massifs courts [1], suivi d'un déhouillement pratiqué d'après la description précédente (N° 456). Si, au contraire, on se maintient dans des dimensions moins excessives, le dépilage s'effectue directement d'après divers modes que je vais énumérer.

460 — *Dépilage en long.* — Le dépilage peut être conduit sui-

[1] Par exemple à Pembleton.

Digitized by Google

vant deux modes fondamentaux : *en long* ou *en travers*, c'est-à-dire en chassant ou en montant.

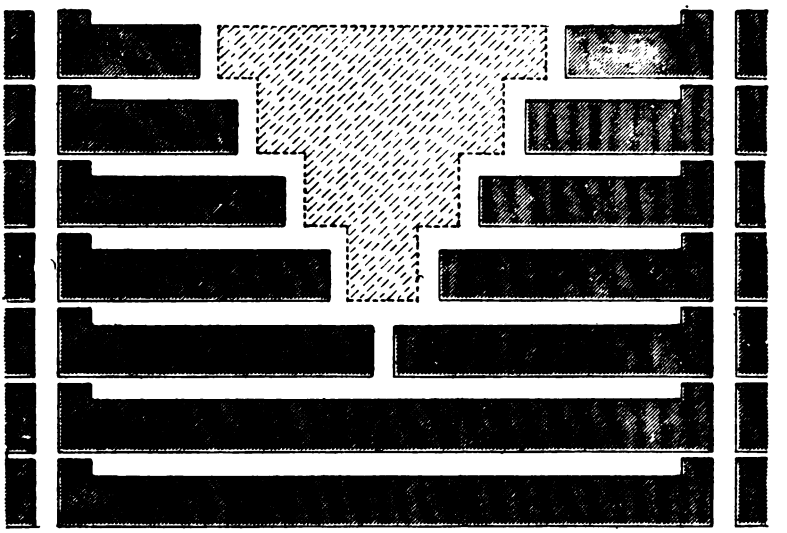


Fig. 313. — Méthode des massifs longs (traçage anglais) (coupe par le plan du gîte).

Dans le premier mode (fig. 313), on crève chaque pilier au

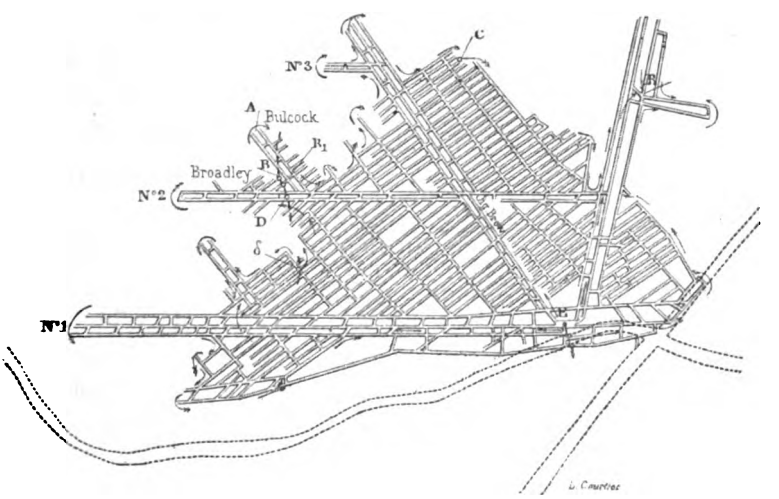


Fig. 314. — Méthode des massifs longs. Puits Moorfield (Althaw).

milieu de sa longueur, par un court montage qui le traverse de

Digitized by Google

part en part; puis on prend les deux parois de cet ouvrage comme fronts de taille de deux chantiers, qui s'éloignent l'un de l'autre, en battant en retraite vers les deux plans inclinés situés aux extrémités du massif. Conformément à la règle générale, les chantiers supérieurs cheminent en avance sur ceux de l'aval-pendage.

Ce mode fondamental se subdivise à son tour en trois variantes distinctes, d'après le degré d'inclinaison du gîte.

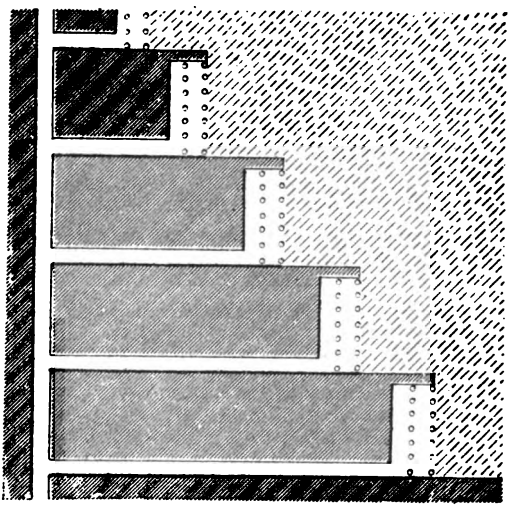


Fig. 315. — Méthode des massifs longs.
Dépilage avec planche protectrice (coupe par le plan du gîte).

Dans les plateures, le front de taille est droit, suivant la ligne de plus grande pente (fig. 312).

Lorsque le pendage s'accentue, en gênant le mineur par la coulée des éboulis du massif supérieur qu'il a sur son flanc, celui-ci se protège contre eux à l'aide d'une *planche* de charbon (fig. 315), que l'on arrache ensuite comme l'on peut, à quelque distance en arrière de l'avancement, sauf à en perdre une partie (1).

Pour les régions encore plus raides, on dispose le front de taille en gradins couchés ou *maintenages* (fig. 316), de manière que chaque piqueur travaille en avant de celui qui est au-dessus de lui, et que le charbon abattu par ce dernier coule par derrière sans le blesser. Quant au dernier décrochement, il joue le rôle de planche protectrice, comme dans le cas précédent (2).

(1) Lavaveix-les-Mines (Ahun, Creuse); Decize, puits Marguerite; Dudweiler (Westphalie); Fünfkirchen (Hongrie); de Beers, Kimberley (Afrique australe).
(2) Houillères de Szekul.

Digitized by Google

461 — *Dépilage en travers direct.* — Le second mode fondamental est le dépilage montant. Il procède par enlevures contiguës disposées suivant la ligne de plus grande pente. Après avoir, comme dans le mode précédent, crevé le pilier long en son milieu par un montage, au lieu d'en prendre les flancs comme fronts de deux tailles chassantes, on recommence à pratiquer consécutivement

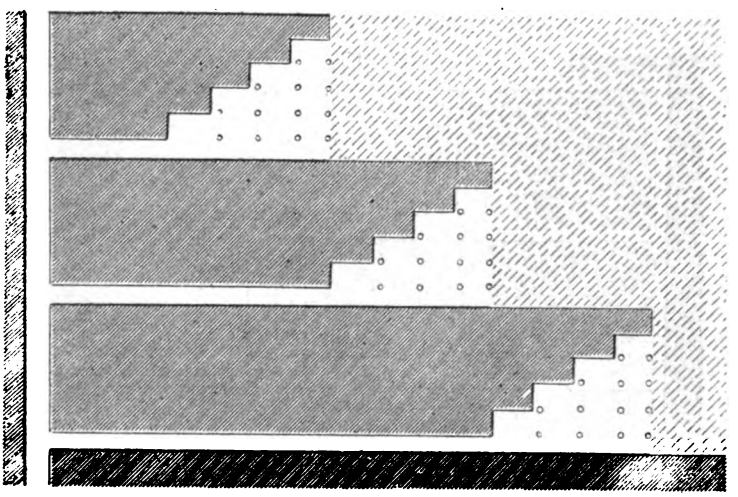


Fig. 316. — Méthode des massifs longs. Dépilage en gradins couchés (coupe par le plan du gîte).

des chantiers adjacents les uns aux autres, ainsi qu'il a été expliqué (N° 456) pour les massifs courts (fig. 308).

De même que le précédent, ce mode fondamental peut être pratiqué suivant plusieurs variantes distinctes.

Avec la première, qui est la plus simple, le travail se fait toujours dans le même sens, et c'est quand une enlevure est terminée que l'on en attaque une autre. Les tailles, parfois réduites à 2 mètres en raison du défaut de solidité, peuvent, dans le cas contraire, atteindre près de 20 mètres de largeur [1].

[1] Mines de fer de Mondalazac; les Zagots (houillères de Decize, Nièvre); Graissessac (Hérault); la Grand'Combe dans la couche mince du Ravin (Gard); Lucy (Saône-et-Loire); Roche-la-Molière; Ronchamp; Lund-hill (Yorkshire); Outwood, Bickershaw, Rosebridge, Westleigh (Lancashire); Kœnigsgrube, Karwin, Wilhelmschacht (Silésie); Burgk,

Digitized by Google

Pour imprimer au chantier plus d'activité en lui donnant un front de taille beaucoup plus étendu, et en même temps lui conserver une solidité suffisante, on met en train à la fois un certain nombre d'enlevures. Elles se trouvent à des degrés d'avancement différents, et le front de taille général dessine un diagramme en *décrochements* (fig. 317). Ce dispositif ne doit pas être confondu avec celui de la figure 316, malgré l'analogie que présentent ces

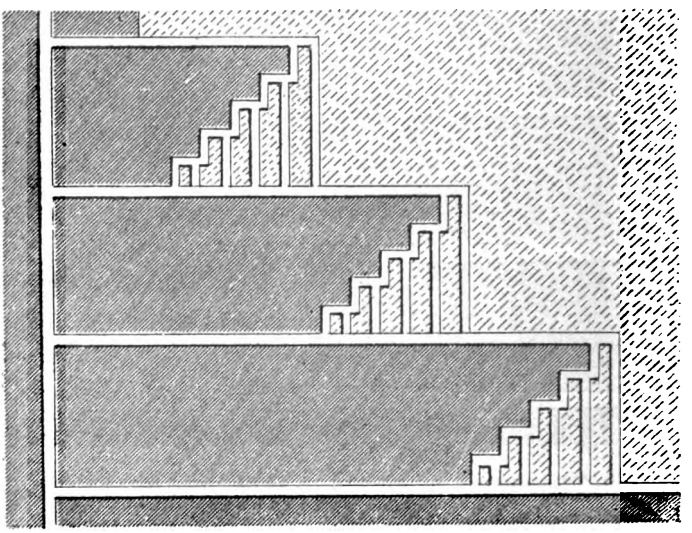


Fig. 317. — Méthode des massifs longs. Dépilage montant en gradins (coupe par le plan du gîte).

deux profils. En effet, pour l'un, les fronts de taille sont en inclinaison et l'avancement chassant, tandis que dans le cas actuel les fronts de taille se trouvent en direction et progressent en montant. Si le plongement est important, on se voit obligé de munir de plans inclinés les voies de roulage ménagées à travers l'éboulement [1].

Lorsque la relevée est importante, on peut abréger la traversée d'une enlevure ordinaire en l'attaquant à la fois par les deux extré-

Bruckenberg (Saxe); Inaszo (Hongrie). Les dispositions sont interverties pour des motifs spéciaux à la mine oolithique du Val-de-Fer (Meurthe-et-Moselle).

[1] Ce système est appliqué dans Ramsmine à Pendlebury.

Digitized by Google

mités, au moyen de tailles montante et descendante, qui en prennent chacune la moitié; procédé analogue à celui que nous avons déjà rencontré pour les massifs courts (N° 456)(¹).

462 — *Dépilage direct et rétrograde.* — Le principe du dépilage dans les deux sens est encore appliqué d'une manière différente qui présente plus de sécurité que les types précédents. Au

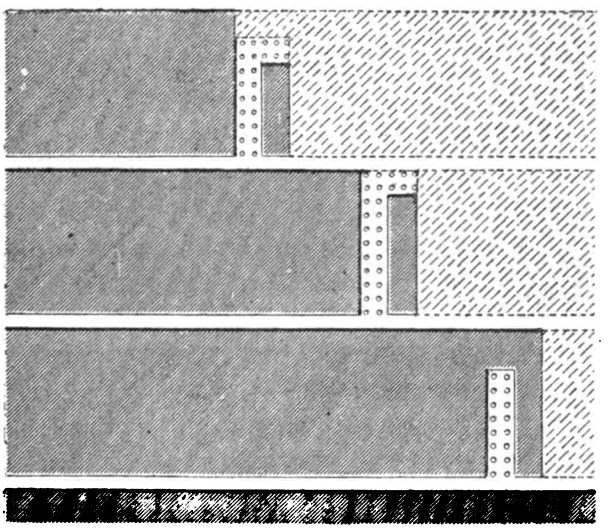


Fig. 318. — Méthode des massifs longs. Dépilage simple montant et descendant (coupe par le plan du gîte).

lieu d'attaquer la nouvelle enlevure au contact de la précédente, on l'ouvre quelques mètres plus loin, en laissant entre les deux une *jambe* de charbon suivant la ligne de plus grande pente (fig. 318). Le piqueur se trouve ainsi, pendant cette phase de l'opération, séparé des éboulis par un rempart solide; et le faîte est soutenu des deux côtés de la taille. Une fois parvenu à la limite supérieure, on tourne à angle droit, et l'on perce en direction jusqu'aux éboulis la jambe de charbon. Dès lors, tournant de nouveau à angle droit dans le sens du plongement, on dépile ce rempart en descendant et se

(¹) Ce type se rencontre dans la couche Hutton à Eppleton.

Digitized by Google

laissant suivre par l'écrasée. Même à ce moment, le mineur trouve dans cet artifice un supplément de sécurité, puisqu'il reste toujours à une distance insignifiante d'une voie de retraite assurée, à savoir le montage, jusqu'à la galerie-costresse[1].

Si la puissance devient considérable, on exécute en montant le percement sur une hauteur modérée, 2 à 3 mètres, en laissant le reste du charbon en couronne. On l'abat ensuite dans la phase

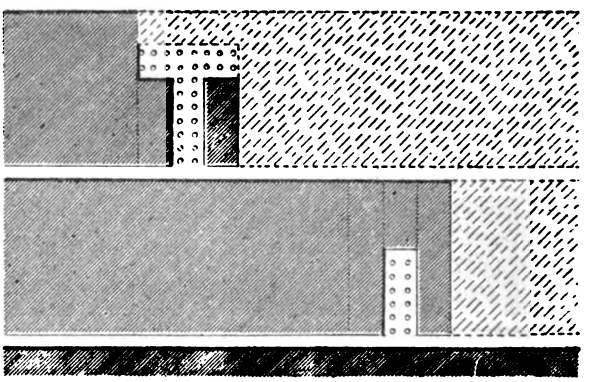


Fig. 319. — Méthode des massifs longs. Dépilage double montant et descendant (coupe par le plan du gîte).

descendante sur toute son épaisseur et en gradins renversés, suivant le type représenté par les figures 119 et 120[2].

Dans beaucoup de mines anglaises, principalement dans le South-Wales, on applique ce système avec de telles largeurs, que le plafond de l'ouvrage direct s'écroule avant qu'on en soit au dépilage en retour. On ménage d'après cela, pour la circulation, des voies dans le goaf[3]. Suivant le nombre de ces galeries par taille, l'appa-

[1] Ce système a été appliqué à Messeix (Puy-de-Dôme); dans l'étage supérieur de Lens; au puits Chatelus de Beaubrun; aux mines de Bert (Allier), où le dépilage de la jambe de charbon se fait à l'aide de petites recoupes chassantes; à Kladno (Bohême); à Kœnigsgrube, sur 8 mètres de puissance, avec une taille de 5 mètres, et une jambe de 3 mètres, dont on abandonnait souvent l'extrémité.

[2] Cette observation est faite ici une fois pour toutes, car cette pratique se rencontre dans beaucoup de méthodes, qui emploient des chantiers pris en avançant et rétrogradant successivement.

[3] D'après l'une des dérogations signalées plus haut (N° 449, note 1).

Digitized by Google

reil porte le nom de *pillar and stall with single stall* ou de *pillar and stall with double stall.*

463 — On a même appliqué le principe d'aller et retour en rendant l'ouvrage symétrique, et déhouillant en descendant non

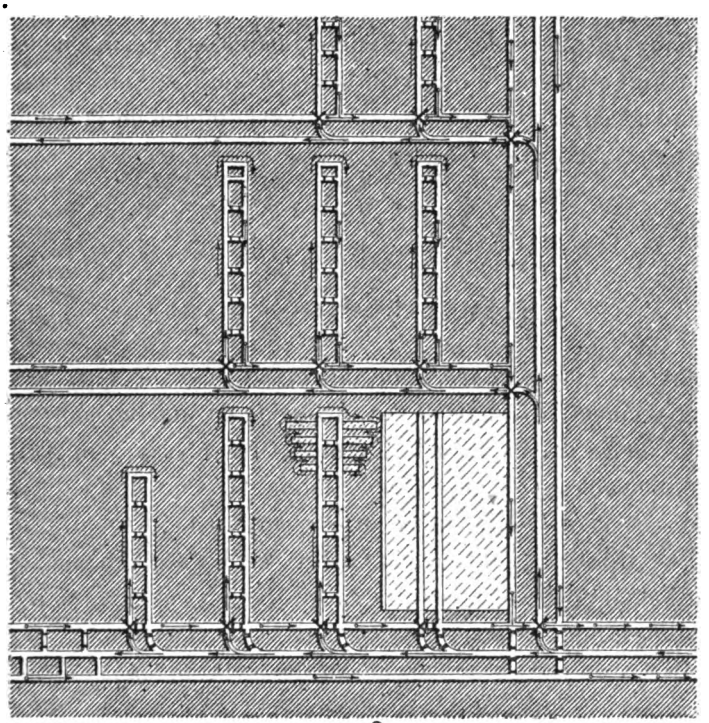


Fig. 320. — Méthode des massifs longs. *Pillar and stall with double stall* (coupe par le plan du gîte).

seulement la jambe protectrice, mais une épaisseur égale prise de l'autre côté du montage (fig. 319). Ce procédé est connu dans le Yorkshire sous le nom de *Bank-system* (1).

La figure 320 représente l'application de ce type d'exploitation dans la couche Black-vein à Celynen (South-Wales) (2). Le grand

(1) Couche Barnsley à Thryberg-Hall.

(2) Puissance 2m,74, inclinaison 0,03. Ces détails d'exploitation et beaucoup d'autres, ainsi que j'en ai déjà averti (N° 455, note 2), sont empruntés à l'important rapport de mission de MM. Pernolet et Aguillon (Angleterre, p. 164).

Digitized by Google

traçage est conduit en voies triples. Un sous-traçage est pratiqué par des voies doubles montantes dans le pilier long de 100 à 150 mètres de largeur sur 250 à 300 de longueur. Pour chacune d'elles, on dépile de chaque côté la moitié du massif d'entre-deux qui la sépare de la voisine. Ce dépilage se fait par des ouvrages du Banksystem, ouverts en direction; différence peu importante d'ailleurs en raison de la très faible inclinaison de la couche. On les conduit à fond en y réservant le *double stall*, et l'on revient vers le montage en dépilant sur les deux ailes la moitié de la jambe qui sépare des chantiers voisins.

§ 3

MÉTHODE DU LONGWALL

464 — *Longwall working outwards* (1). — Ce qui distingue essentiellement le *longwall* des méthodes de massifs courts ou de massifs longs est un caractère d'unité très marqué, imprimé au déhouillement du champ d'exploitation au sein duquel cet ouvrage s'étend indéfiniment de proche en proche. En outre, le traçage s'y trouve de plus en plus réduit, et disparaît même absolument dans l'un de ses types qui, à l'inverse des *méthodes de traçage et dépilage*, nous présente une *méthode sans traçage*.

Cet appareil comporte deux modes distincts : le *longwall working outwards* et le *longwal working home*.

Pour établir un *longwall working outwards* (fig. 321), on pratique, à partir du puits, une artère fondamentale comme base d'opérations, à l'aide de deux galeries jumelles que l'on dispose en général suivant la direction. On y branche des tailles montantes d'un large front. Les plus rapprochées du puits étant les premières ouvertes, seront les plus anciennes et les plus avancées par conséquent. Les autres progressent de conserve, avec des longueurs graduées dont l'ensemble dessine un diagramme en décroche-

(1) Harden, The longwall system of mining, *Trans. americ. min.*, I, 300. — Stock, Notes on the iron-ores of Danville (Pennsylvanie) with a description of the longwall method, *Ibidem*, octobre 1891.

Digitized by Google

ments. Chaque taille se trouve reliée à la voie de fond par une galerie ou un plan incliné, selon que le pendage est plus ou moins prononcé. Elles communiquent en outre latéralement les unes avec les autres pour le passage de l'air.

On voit que ce système, ainsi que nous l'avions annoncé, constitue bien une méthode sans traçage, car l'ouverture d'une base d'opérations ne saurait être rangée sous ce titre, et constitue une partie indispensable de toute méthode d'exploitation [1].

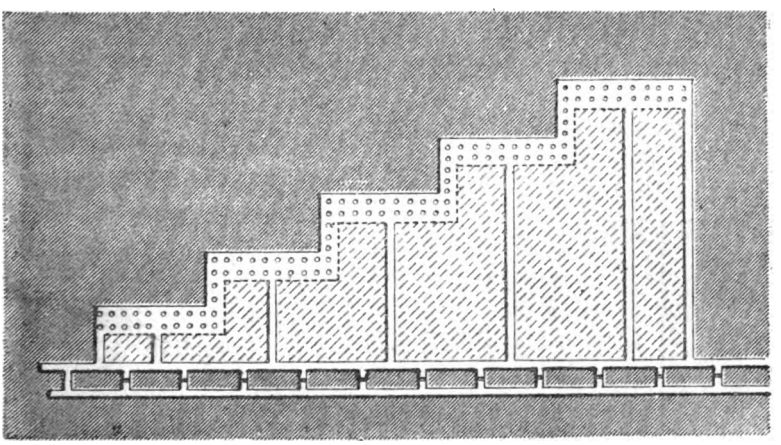


Fig. 321. — *Longwall working outwards* (coupe par le plan du gîte).

Si, comme c'est l'ordinaire en Angleterre, la couche est bien réglée, il est inutile que les galeries jumelles précèdent les tailles de plus d'une vingtaine de mètres. Si, au contraire, il est à propos d'éclairer la marche, pour que le développement de l'ouvrage ne se trouve pas subitement arrêté par un dérangement du gîte, on pousse cette artère en reconnaissance à une distance qui peut atteindre 100 et même 200 mètres.

Cette base peut aussi se mettre suivant l'inclinaison, lorsque le pendage est peu prononcé. On la dirige également en demi-pente,

[1] Ce mode de déhouillement, qui a pris naissance dans le Midland, est très usité dans le Yorkshire, le Nottinghamshire et le pays de Galles. On le rencontre à Blantyre, Hoyland, Hundley-field, Park-lane, Rockingham, Wain-elwyd. Il s'applique également dans les black-bands, ou gîtes de fer carbonaté du South-Wales. En France, on y peut rattacher le mode d'exploitation de la houillère de Comberedonde (Gard).

Digitized by Google

si l'on juge à propos de profiter d'une feuille prononcée du combustible pour en faciliter l'abatage[1].

On applique la méthode du longwall sur une échelle parfois gigantesque. Dans le Yorkshire, le développement des fronts de taille atteint un kilomètre; dans le Lancashire, 2400 mètres; dans le Nottinghamshire, 4800 mètres. Quant à l'étendue du front élémentaire formant décrochement, elle varie, suivant la solidité, entre 5 mètres et 30 mètres.

465 — *Longwall working home.* — Le côté faible du mode précédent consiste dans l'obligation de conserver les communications

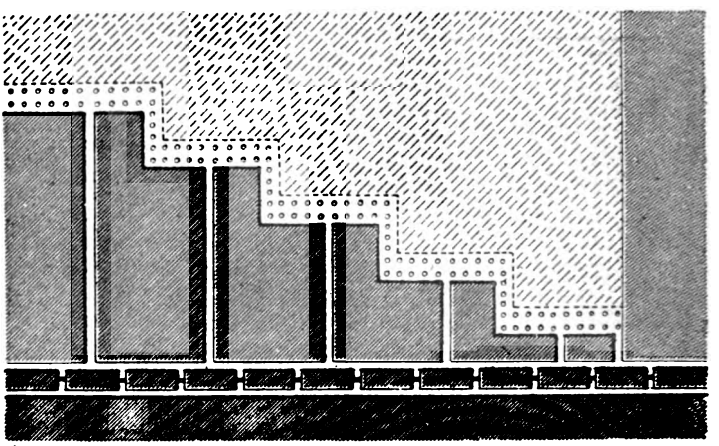


Fig. 322. — *Longwall working home* (coupe par le plan du gîte).

dans le goaf, contrairement à la règle théorique (N° 449). Dans le *longwall working home*, on se conforme au contraire à cette règle, en se portant aux limites du champ d'exploitation par un traçage, à la vérité réduit à sa plus simple expression, et destiné à conserver les communications dans le ferme, pendant que l'on dépile en reculant. A cet effet (fig. 322), l'on pousse encore à partir du puits l'artère essentielle, et l'on y branche des galeries perpendiculaires qui se portent à la limite, d'où l'on revient en dépilage. Celui-ci

[1] A Schaunburg (Hanovre), on emploie un longwall en demi-pente dans une couche de combustible de 0m,40 de puissance.

Digitized by Google

commencera donc par les galeries les plus voisines du puits, qui parviendront avant les autres à l'extrémité de leur développement, et qui se trouveront plus tard les premières raccourcies par les progrès de ce déhouillement [1].

Ce mode est moins employé que le précédent, attendu que la durée du traçage retarde le moment de la pleine activité de la production.

§ 4

MÉTHODE INCLINÉE

466 — *Propriétés de la méthode.* — Les procédés ci-dessus constituent les méthodes en une seule tranche, et supposent dès lors une puissance limitée. En général, cette épaisseur devra être comprise entre 1^{m},50 et 3 mètres. Au-dessous, on est obligé d'entailler le toit ou le mur pour établir les galeries, et les matériaux ainsi obtenus peuvent servir à constituer tout au moins un remblai incomplet. Au-dessus, on se trouverait conduit à employer des bois d'une longueur exceptionnelle. Cependant on atteint assez facilement 5 mètres [2]. On a même poussé cette limite à 10 mètres et jusqu'à 15 mètres. Mais la plupart des exemples que l'on pourrait citer d'une telle exagération ont aujourd'hui disparu [3].

Plutôt que de se lancer dans ces excès, il est préférable de scinder le gîte en tranches d'une hauteur convenable, dont chacune sera prise par l'un des systèmes précédents, sans que nous ayons à revenir sur cette partie de la description. Nous avons vu de plus

(1) On rencontre ce système d'exploitation principalement dans le Lancashire, où il est connu sous le nom de *méthode de Manchester*; par exemple dans la couche five-quarters à Clifton-hall.

(2) A Roche-la-Molière, en Silésie, en Saxe.

(3) A Kladno, on a atteint 10 à 12 mètres; à Lucy, 12 mètres (en 1888 on avait encore 6 à 8 mètres au puits Bresson). Les mines de Blanzy ont eu autrefois, à Cinq-Sous, des chantiers de 12 à 15 mètres de hauteur. (Tournaire, *Bull. min.*, 2e, IV, 208. — Mallard et Lechatelier, *Annales*, 8e, I, 20.) — A l'époque actuelle on rencontre à Nisska (Pologne russe) des chantiers de 8 à 9 mètres de hauteur. Un montage sert de base d'opération, on en fait partir des chassages séparés par des jambes de charbon dont on reprend ce que l'on peut.

Digitized by Google

qu'au-dessus d'une même projection horizontale, ces tranches seront prises forcément dans l'ordre descendant.

467 — La méthode inclinée se présente la première dans un ordre rationnel, comme nous rapprochant davantage des conditions normales des gîtes minces. En effet, elle nous offre des tranches indéfinies dans tous les sens, comme le sont en principe les couches ordinaires; tandis que les tranches horizontales ne nous donneront que des *bandes*, illimitées suivant la direction, mais nécessairement restreintes à la *traversée* du gisement, dans le sens perpendiculaire.

La méthode inclinée se recommande en particulier pour les couches *barrées*, c'est-à-dire pour celles dans lesquelles la masse principale est subdivisée en plusieurs bancs partiels par des lits stériles intercalés. La division du travail d'après cette stratification simplifie alors notablement la séparation des deux genres de matières, que la méthode horizontale abattrait pêle-mêle dans le chantier. De plus, ces *nerfs* prennent parfois assez d'importance pour former des entre-deux que l'on peut respecter, de manière qu'ils constituent le mur d'une tranche d'exploitation et le toit de l'autre. Quelquefois un lit tendre placé au mur d'un front de taille pourra être utilement employé pour le havage.

La méthode inclinée par foudroyage trouve sa place même dans l'exploitation par remblayage des gîtes puissants. Il peut arriver, en effet, qu'après être monté de tranche en tranche sur le remblai jusqu'à la dernière, on juge à propos, en ce qui concerne celle-ci en particulier, de faire l'économie du remblayage en laissant tomber le toit; puisque, à l'inverse de ce qui avait lieu pour les tranches précédentes, on n'a plus rien à ménager au-dessus.

Cette méthode est, par sa nature, restreinte à des pendages modérés. Dans les parties raides, la méthode horizontale seule pourrait convenir. En effet, avec un plongement dépassant 40 et 45° les bois se tiennent moins bien. L'ouvrier est gêné pour son travail. Il se trouve en outre exposé au danger du glissement des éboulis sur ces déclivités. En outre, au moment de l'abatage, le

Digitized by Google

charbon lui-même roule sur la pente en se détériorant et en exposant les piqueurs à des accidents graves.

468 — Il importe de signaler une propriété géométrique fort simple, mais très utile, de cette méthode. C'est qu'une droite horizontale quelconque, autre que la direction du gîte, rencontre toutes les tranches, tandis qu'avec la méthode horizontale, elle se trouve entièrement confinée dans une tranche, sans pouvoir atteindre les autres.

D'après cela, il sera facile de passer d'une tranche dans l'autre par de simples déviations des galeries d'allongement, ou à l'aide de courtes traverses, en conservant l'horizontalité de toutes ces voies de communication. Il suit de là d'assez grandes facilités pour utiliser, en vue de l'exploitation de plusieurs tranches, et au besoin de toutes, les éléments principaux d'un traçage établi d'une manière durable dans la tranche du mur, qui disparaît la dernière, au lieu de tout recommencer de fond en comble, quand on passe d'une tranche à l'autre.

Remarquons même que, si des motifs quelconques portent à construire au toit les ouvrages permanents, par exemple pour se procurer un bon plafond, ou pour ne pas fatiguer pendant l'exploitation de toute la puissance la couronne qui les surmonte, on le pourra avec la même facilité que dans le cas précédent. On communiquera horizontalement de la tranche du toit avec toutes les autres, et l'on en sera quitte pour réserver dans chacune d'elles l'investison qui se trouve subordonné à cette traverse, en ne le dépeçant qu'au dernier moment, lorsque l'on achève le déhouillement de la tranche du mur.

469 — *Aménagement.* — Quant à l'aménagement général de l'étage dans la méthode inclinée, il est très simple à concevoir dans son principe général (fig. 323).

Cet étage est défini par les plans horizontaux de deux travers-bancs qui, partant des envoyages correspondants du puits, abordent le gîte par le mur, pour ne pas être disloqués par le foudroyage du toit. On les prolonge jusqu'à la sole de la tranche du toit.

Digitized by Google

A ce point, de même qu'à la sole des tranches subordonnées, l'on percera, au moment de leur aménagement successif, des voies de fond en direction jusqu'à la limite du champ d'exploitation.

De distance en distance, pour diviser ce dernier en quartiers, on branchera sur ces costresses des plans inclinés, gravissant toute la

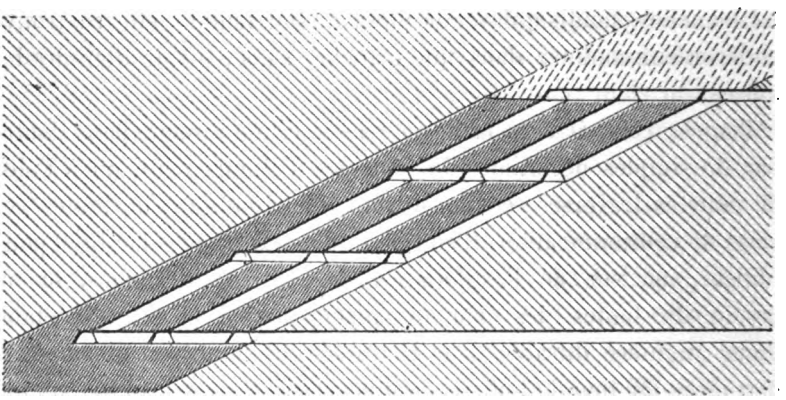


Fig. 323. — Méthode inclinée (coupe verticale en travers).

hauteur de l'étage. Enfin l'on reliera à ces plans, à divers niveaux, d'autres voies d'allongement dessinant les sous-étages.

C'est dans ce traçage, pratiqué successivement, que s'encadreront pour chaque tranche les procédés d'exploitation qui ont été décrits dans les paragraphes précédents [1].

[1] Cette méthode a été appliquée de bonne heure aux mines de Blanzy (Saône-et-Loire) et, pour cette raison, elle est encore appelée *méthode de Blanzy*. A Rochebelle (Alais), on divise le gite en deux tranches inclinées, à cause de sa grande friabilité, qui empêche de prendre d'un seul coup toute la puissance dans les renflements. A Brückenberg, on commence à prendre en deux tranches une couche de 4 mètres. A Zwickau, on exploite en deux tranches un gite de 10 mètres. A Dombrowa (Pologne), où la couche atteint parfois 14 mètres de puissance, on exploite par massifs longs et dépilage chassant, en deux tranches de 4 à 8 mètres d'épaisseur (Jakowski, *Bull. min.*, 2e, V, 353). On rencontre encore cette méthode à la mine Innerberger (Seegraben, Styrie), et dans les lignites de Bohême, à Falkenau et à Dux.

Digitized by Google

§ 5

METHODE HORIZONTALE

470 — *Propriétés de la méthode.* — La méthode horizontale [1] présente l'avantage d'être absolument indépendante de l'inclinaison et de la puissance du gîte, ainsi que de la consistance du toit. Quant à la solidité de la masse elle-même, elle n'en dépend qu'au même degré que celle des tranches inclinées. Elle peut donc, en principe, s'appliquer à un gisement quelconque.

Elle est, pour ce motif, la seule qui convienne à un amas sans forme déterminée, réclamant, pour cette raison, une méthode qui soit elle-même indépendante des éléments géométriques inhérents à cette forme, ce qui n'est pas le cas de la méthode inclinée.

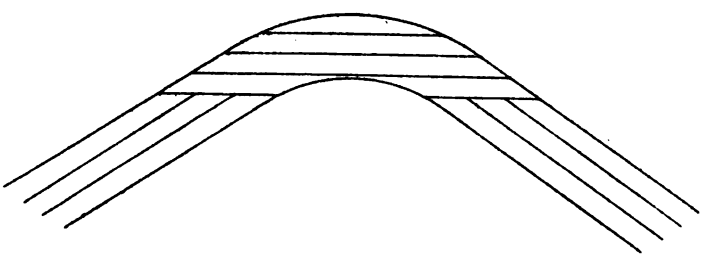


Fig. 324. — Exploitation d'une selle (coupe verticale en travers).

Il y aura lieu également de prendre par tranches horizontales le sommet d'une selle, dont les deux pendages opposés seraient exploités par tranches inclinées (fig. 324).

La méthode horizontale présente cette particularité, qui lui est propre, que des lignes quelconques tracées dans la tranche étant horizontales, les chevaux peuvent aller partout dans le réseau des voies de communication que l'on y établit, ce qui n'a pas lieu pour la méthode inclinée, avec laquelle ils ne peuvent circuler que suivant la direction.

[1] Appelée aussi méthode *des tranches plates*.

Digitized by Google

Le phénomène de l'écrasée ne se complique plus alors de mouvements de glissement, comme avec les tranches parallèles à la stratification, et les éboulis restent sur le point même où ils s'abattent. Les effondrements accidentels et imprévus ont aussi moins de gravité qu'avec les tranches inclinées.

471 — *Aménagement.* — Pour l'aménagement d'un étage (fig. 325, 326), on commencera par en rejoindre le pied à l'aide

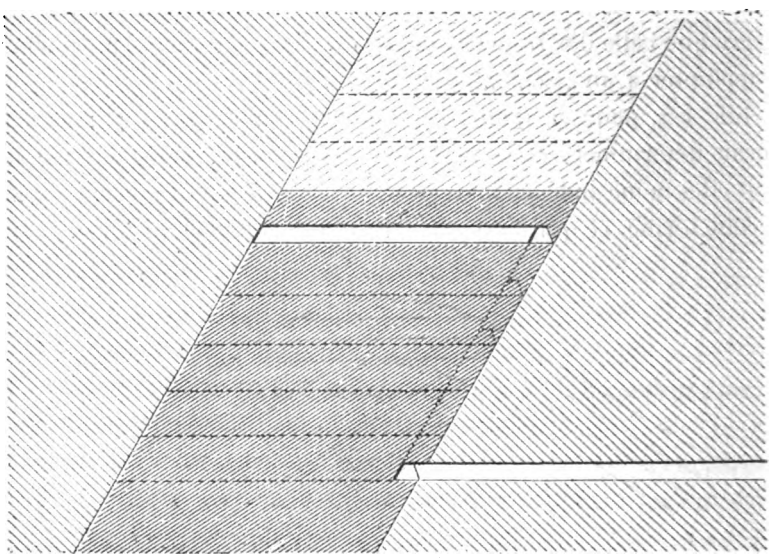


Fig. 325. — Méthode horizontale (coupe verticale en travers).

d'un travers-bancs, que nous continuons à supposer placé dans le mur. On chasse dans le gîte une mère-galerie, jusqu'à la limite du champ d'exploitation. On y branche autant de plans inclinés que l'on voudra constituer de quartiers, en les poussant jusqu'au sommet de l'étage. Ces plans iront par la suite en se raccourcissant, au fur et à mesure que les tranches, étant enlevées à partir de la partie supérieure, se rapprocheront elles-mêmes de celle *d'à-rase.*

Pour déhouiller chaque tranche dans un de ses quartiers caractérisé par son plan incliné, l'on ouvrira une voie de roulage en

Digitized by Google

direction suivant toute sa longueur, à partir de ce plan. Si la puissance est assez faible, on pratiquera une traverse, et l'on reviendra en direction à partir de l'extrémité, en abattant sur toute la largeur, et traitant cette tranche comme un simple massif long avec dépilage chassant (N° 460).

Lorsque la puissance est plus notable, on prend la tranche par

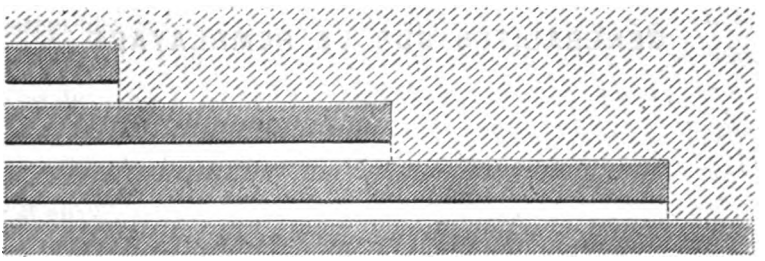


Fig. 326. — Méthode horizontale (coupe verticale en long).

enlevures successives, d'après les divers modes de dépilage en travers qui ont été décrits pour un massif long (N°s 461, 462, 463).

Si enfin la traversée de la couche devient très importante, on se rapprochera des conditions d'un panneau ordinaire en plateure, en lui appliquant l'une des méthodes de traçage et dépilage décrites au commencement de ce chapitre (1).

(1) La méthode horizontale par foudroyage a été employée dans les lignites de Bohême, à Obergeorgenthal et à Tschausch, dans ceux de la mine Drasche (Seegraben), et de Köflach (près Gratz) ; pour les schistes alumineux du pays de Liège, les minerais de fer de Stahlberg (pays de Siegen), et les amas de calamine de la Haute-Silésie. On est arrivé avec cette méthode, dans les mines de diamants de De Beer's, à ne perdre que 5 0/0 du gîte.

Digitized by Google

CHAPITRE XIX

GÉNÉRALITÉS SUR LE REMBLAYAGE

—

§ 1

NATURE DU REMBLAI

472 — *Nature minéralogique du remblai.* — La nature du remblai [1] influera évidemment au plus haut degré sur les éléments techniques et économiques des méthodes fondées sur le troisième principe fondamental de l'exploitation souterraine : celui du remblayage. Si le choix en était arbitraire, il serait facile de formuler une définition du type qui mérite la préférence. Mais, dans la réalité, l'on se trouve presque toujours étroitement circonscrit à cet égard par les nécessités locales.

Les matières argileuses fournissent un bon remblayage, qui *fait prise* et permet de *passer sous le remblai.* Elles procurent un excellent corroi contre l'eau, les feux, la fumée, la déperdition du courant d'air. Mais elles *tassent* beaucoup, et se laissent pénétrer par les bois, quand la charge donne. Il faut avoir soin de ne pas les introduire humides, ou gelées, car elles dégèlent dans les travaux, et y forment une boue qui n'est plus susceptible de conserver aucun talus naturel.

Les pierres, les galets de rivière, la gangue des filons, constituent un type diamétralement opposé. Ce remblai est très solide et se tasse peu. Mais il ne fait pas prise, n'arrête ni l'eau, ni l'incendie, ni la fumée, et laisse perdre le courant d'air.

[1] Que l'on appelle parfois *bourrage.*

Digitized by Google

Le sable et le gravier, le laitier et les scories, réunissent les inconvénients précédents, sans les compenser par les mêmes avantages. Ils ne font pas prise, se tassent encore et laissent tamiser les fluides.

Les résidus de la préparation mécanique des minerais se tassent d'une manière égale, et forment un bon pisé.

Les schistes bitumineux ou pyriteux, en un mot ceux qui sont susceptibles de fermenter, de s'échauffer et de s'enflammer, doivent être proscrits d'une manière absolue. Loin de songer à en introduire du dehors, on doit les sortir avec le même soin que la matière utile elle-même. Ils brûlent alors sur les haldes, en présentant pendant la nuit le spectacle d'incendies assez pittoresques. On peut ensuite, après ce grillage, les rentrer sans inconvénient; et l'on y trouve cet avantage de se procurer ces remblais sans nouveaux frais spéciaux, en même temps qu'on limite ainsi l'extension des haldes.

En vue du même danger, et par suite du renchérissement du combustible, on a vu disparaître en France l'antique habitude de remblayer avec du charbon menu, lequel restait parfois invendable avant la création de l'industrie des agglomérés. Les nouveaux perfectionnements des foyers, qui permettent la combustion directe de ces menus, ne peuvent également que confirmer dans cette voie. Cependant on rencontre encore aujourd'hui des exemples de cette pratique dans le sud du pays de Galles [1], où l'on abandonne environ 15 pour 100 du gîte, sous la forme de menus utilisés comme remblais.

Il faut ajouter à la liste des matériaux employés pour combler le vide des travaux souterrains, la maçonnerie proprement dite. Ce dernier remblai est parfait comme solidité, étanchéité, prise, et absence de tassement. Mais son prix de revient le rend inabordable, en dehors de circonstances tout à fait exceptionnelles [2].

[1] *PA*, Angl., 164. — Lecornu, *Annales*, 7e, XIV, 340.

[2] On l'emploie sur quelques points spéciaux des mines de lignite de la Bohême, sous forme de piliers destinés à soutenir des vides immenses, qui ont atteint jusqu'à 66 mètres de longueur sur 6 de largeur et 8 de hauteur. L'usage de la maçonnerie forme également la base essentielle de la méthode d'exploitation d'Almaden (N° 541), parfaitement justifiée dans ce cas particulier par l'énorme valeur du minerai.

Digitized by Google

473 — *Sources de remblai.* — Les sources susceptibles de fournir ces diverses substances sont elles-mêmes très variées.

La plus simple est l'existence du stérile à pied d'œuvre. On le trouve dans la gangue des filons, quand la partie utile n'y est pas finement disséminée; dans les nerfs intercalés entre les lits de la houille, et trop peu importants pour être respectés à l'état d'entre-deux; dans les *faux toits* et les *faux murs*, épontes sans solidité, que l'on est obligé de supprimer lors de l'enlèvement du minerai. pour aller chercher un meilleur plafond ou une sole plus satisfaisante.

On peut encore rencontrer le stérile à peu près sur place, bien qu'au prix d'un faible transport; par exemple dans l'entaillement du toit ou du mur, nécessaire pour établir, avec des gîtes trop minces, les voies de communication; dans le percement des travers-bancs, et autres travaux au rocher. Des frais de roulage et d'extraction seraient en tous cas nécessaires pour sortir ces matières, si on ne les employait pas à l'intérieur. Cette utilisation, et la dépense qu'elle économise, viendront donc en déduction des frais nécessités par le percement des voies en question.

Les résidus de la préparation mécanique des minerais fournis par l'exploitation, ou des usines métallurgiques qui s'y rattachent directement à proximité du carreau de la mine, donnent lieu à une appréciation analogue. Des frais de transport seraient toujours nécessaires pour les éliminer des ateliers. En outre, la formation des haldes introduit une question d'une certaine gravité. On est obligé de leur affecter des terrains, quelquefois coûteux, presque toujours considérables, quand on ne trouve pas dans le lit d'un torrent un véhicule naturel pour les entraîner au loin. Bien des fois, des chantiers ou des usines ont dû être transportés sur d'autres points, en raison de l'encombrement du carreau de la mine. L'emploi de ces matériaux pour le remblayage intérieur présentera donc, à ce point de vue, une double utilité.

474 — A côté de ces matières, que présente occasionnellement l'exploitation elle-même, se placent celles que l'on exploite tout exprès pour fournir au remblayage.

Digitized by Google

En premier lieu, nous devons citer les matériaux fournis par l'intérieur : on s'en procure, quoique rarement à la vérité, au moyen de chambres d'éboulement pratiquées dans le toit (N° 453), ou dans le remplissage de certaines failles, formé de matières chaotiques tombées de la partie supérieure, et restées sans consistance.

Viennent ensuite les matériaux de l'extérieur, provenant du découvert que l'on pratique sur l'affleurement du gîte [1]. Il est incontestable que les frais d'abatage de ces terrains de recouvrement doivent figurer au budget des dépenses de l'exploitation, mais une seule fois : soit dans le prix de revient des travaux à ciel ouvert en déchargeant l'intérieur de l'abatage du remblai, soit dans celui de l'exploitation souterraine, soit enfin d'après une certaine ventilation entre ces deux chapitres de la dépense. En outre on dégage ainsi de la manière la plus utile l'aménagement du découvert, en faisant disparaître les stériles, pour lesquels il eût fallu trouver des places de dépôt, si l'intérieur ne les eût ainsi absorbés. Enfin les frais d'extraction de ces matières se trouveront supprimés ou très simplifiés, si, au lieu de les remonter du fond de l'excavation jusqu'à la surface, on établit des communications souterraines, pour les faire descendre directement dans la mine.

Nous arrivons maintenant aux carrières spéciales que l'on établit au jour dans le but de fournir du remblai. A l'inverse de ce que nous présentent tous les cas précédents, on aura pour celui-ci, au moins dans une certaine mesure, le choix de la roche à exploiter en vue de cet usage. Indépendamment de sa nature, la proximité de son emplacement devra être prise en considération, surtout si elle peut permettre l'installation de communications souterraines destinées, comme dans la combinaison précédente, à éviter l'enlevage de ces matières jusqu'à la surface, en les faisant au contraire descendre directement dans les travaux.

Je citerai en terminant un mode de remblayage tout à fait exceptionnel [2]. Il consiste en théorie à se servir indéfiniment de

[1] Houillères de Blanzy, Commentry, Saint-Éloi (Puy-de-Dôme); mines de fer de Mokta-el-Hadid près Bône (N° 583).

[2] Appliqué à La Mure, et dans la *deuxième brûlante* de la Béraudière, ainsi qu'à Trifail (Styrie).

Digitized by Google

proche en proche du même remblai, sauf bien entendu à compenser une déperdition inévitable, mais en supprimant la nécessité, inhérente à tous les modes précédents, de se procurer une quantité de remblai exactement proportionnelle aux vides à combler. On fait couler ce remblai de tranche en tranche, ou de sous-étage en sous-étage, au fur et à mesure que l'exploitation progresse dans le sens descendant. Il est évident que les chantiers que l'on vide ainsi, ne se trouvant plus soutenus, finiront par s'effondrer; mais ce sera seulement lorsque le personnel n'a plus à y rentrer, et que le remblai a rempli pendant le temps nécessaire son rôle de protection et d'échafaudage. C'est une sorte de compromis assez original, entre les principes de remblayage et de foudroyage, analogue au boisage suivi de déboisage.

§ 2

MODE D'EMPLOI DU REMBLAI

475 — *Introduction du remblai.* — La première idée qui se présente à l'esprit, pour la descente du remblai, est de le *bouter* dans des puits spéciaux; mais on s'exposerait par là à des bourrages dangereux. Tout au moins faut-il, quand on emploie exceptionnellement ce moyen, évaser vers le bas la maçonnerie en forme de tronc de cône, afin de faciliter le débourrage en cas d'encombrement. Les frais de reprise et de chargement à la recette inférieure viennent encore compliquer la question.

Il est plus rationnel, pour ce motif, de descendre les wagonnets eux-mêmes tout chargés. Le poids mort du véhicule reste en effet sans influence au point de vue théorique, car il est équilibré par celui du chariot vide que l'on remonte dans la même manœuvre. Il ne figure donc, en ce qui concerne le travail, que par les résistances passives dont il devient l'occasion.

On descend ainsi les remblais *à charge*, c'est-à-dire en usant avec le frein le travail de la gravité. On peut se servir pour cela d'appareils spéciaux que nous décrirons plus tard (chap. XXXV, § 6), ou de la machine d'extraction ordinaire, en engageant son frein

Digitized by Google

ou la contre-vapeur, pendant les intervalles du trait ascensionnel du charbon.

Il serait assez naturel de concevoir, d'après cela, l'idée d'opposer les deux opérations l'une à l'autre, et de faire figurer comme moteur pour l'ascension du charbon la descente du remblai correspondant (1). Mais il en résulterait, en général, un assujettissement inadmissible pour l'extraction, tandis que celle-ci tend partout à redoubler d'activité, et que l'on cherche tous les moyens de la simplifier le plus possible. De plus cette combinaison est incompatible avec la séparation, dans des postes distincts, des deux services du charbon et du remblayage, qui est inhérente à beaucoup de méthodes. Enfin il arriverait, en rattachant au même accrochage le roulage intérieur du remblai et du combustible pour la même taille, que le chemin parcouru en descendant par le charbon deviendrait une rampe à gravir pour le remblai, ce qui tend à faire écarter ce système (2).

476 — Cette dernière difficulté a été tournée d'une manière très ingénieuse à la Grand'Combe par l'organisation du *roulage circulaire* (3). D'après la disposition de la mine de Champclauson, le charbon sort en galerie et n'a qu'à descendre au niveau du chemin de fer Paris-Lyon-Méditerranée. En même temps, on a eu soin d'ouvrir les carrières de remblai au-dessus de la mine; et par suite le remblai n'a lui-même qu'à descendre jusqu'à son lieu d'emploi. Ce n'est donc pas entre ces deux substances que l'on peut établir l'antagonisme. Le travail de la descente de la matière utile est employé à remonter le poids mort des véhicules, non

(1) Ce service a fonctionné régulièrement à Commentry.

(2) On est cependant obligé parfois de remonter le remblai sur une certaine hauteur, par exemple lorsque les tailles doivent être remblayées avec des stériles provenant des travers-bancs exécutés au niveau inférieur du même étage. On peut employer utilement dans ce cas de petits treuils, à air comprimé ou autres, qui élèvent les terres par les plans inclinés jusqu'à la voie supérieure de chaque chantier. Ces machines sont quelquefois établies au niveau de la voie de fond, lorsque la tête du plan est destinée à se déplacer fréquemment; on dispose alors en ce dernier point une simple poulie de renvoi. Ces treuils servent également à descendre au frein les berlines de charbon.

(3) *CRM*, 1883, 120.

Digitized by Google

Fig. 327. — Cheminée dans le massif (coupe verticale).

seulement, comme dans le cas général, sur la hauteur parcourue par le charbon, mais en outre jusqu'au niveau supérieur où se trouvent les carrières de remblai, et même un peu au-dessus. C'est l'objet d'un organe très ingénieux, appelé plan bisautomoteur, qui sera décrit plus tard (N° 682).

Dans ces conditions, le wagonnet, partant de la taille plein de charbon, est roulé jusqu'au plan incliné intérieur, et y descend au frein jusqu'à la voie de fond, par laquelle il sort au jour. Il se rend alors spontanément, sans aucune traction, sur des pentes calculées dans ce but, à l'accrochage intermédiaire du plan bisautomoteur. Il descend au pied de ce plan, en remontant un véhicule vide, de ce dernier point au sommet du plan. Ce wagon, encore vide, roule alors de lui-même sur une pente automotrice, pour atteindre la carrière, où il est rempli de remblai. Il reprend ensuite sa course spontanée vers l'entrée de la mine de Champclauson, dans laquelle il pénètre par un plan incliné intérieur. On l'y descend au frein, jusqu'au sous-étage où se trouve la taille à laquelle il est destiné. Il y parvient enfin par la costresse correspondante, en terminant son circuit. On obtient ainsi une circulation du

Digitized by Google

charbon et du remblai par la seule action de la gravité, et sans l'intervention d'aucun moteur étranger, si l'on excepte les herschages ordinaires dans les galeries de niveau de la mine.

477 — *Cheminées.* — Lorsque la hauteur n'est pas très grande, on emploie des *cheminées*, appareils qui figurent également dans certaines méthodes d'exploitation pour la descente du charbon à un niveau inférieur. On désigne sous ce nom de petits bures verticaux, ou des montages très raides, percés en plein massif (fig. 327), ou ménagés pendant la pose du remblai (fig. 328). Ces ouvrages sont fermés à la partie inférieure par une trappe à charnière ou à coulisse. Les cheminées sont maintenues pleines. En ouvrant plus ou moins la trappe, on déverse dans les wagonnets amenés au-dessous une partie du contenu de la cheminée. De cette manière, les matières descendent doucement, à la demande du roulage, et non en se précipitant dans le vide avec beaucoup de détériorations et des conditions périlleuses. Pour faciliter le glissement, on garnit l'intérieur de coulantages en planches, ou en tôle lorsque la pente est insuffisante, afin de réaliser un moindre coefficient de frottement.

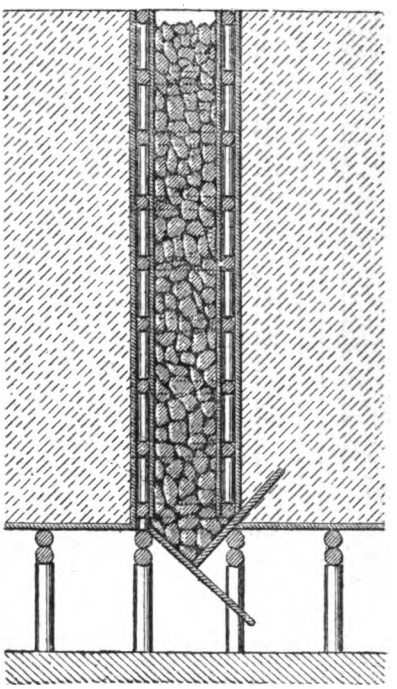


Fig. 328. — Cheminée dans le remblai (coupe verticale).

Ce mode de fonctionnement expose, à la vérité, à l'*ancrage* de la cheminée, les matières s'arc-boutant en voûte et refusant de descendre; circonstance qui porte encore les noms de *bourrage*, *obstruction*, *engorgement*. Comme le *désancrage* est une opération

Digitized by Google

dangereuse, on a ménagé, dans certaines cheminées, un couloir latéral avec guichets de communication. Des gamins s'y engagent, et, en ouvrant les guichets, remettent les matières en mouvement au moyen de ringards. Mais un moyen plus simple et plus efficace consiste à donner à l'ouvrage, comme aux puits de remblai (N° 475), au lieu de la forme prismatique, celle d'un tronc de pyramide légèrement évasé vers le bas. Dans ces conditions, quelques ébranlements suffisent ordinairement pour déclencher les arc-boutements, et remettre la charge en mouvement.

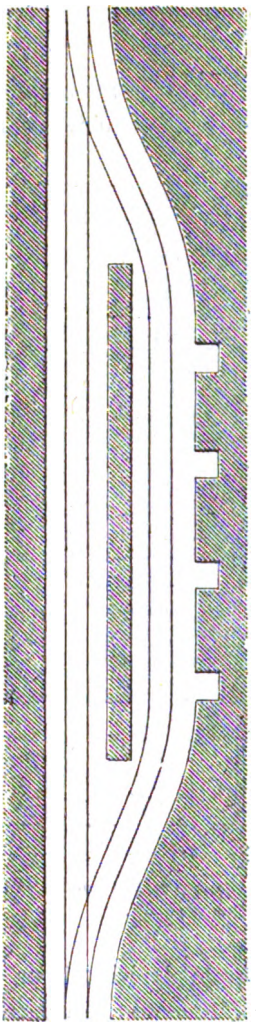


Fig. 329. — Voie d'évitement pour les cheminées (coupe horizontale).

On doit, au moins dans la mesure du possible, avoir le soin, trop négligé en général, de ne pas faire déboucher les cheminées, par le haut ou par le bas, dans l'axe d'une galerie ou d'un chantier. On dispose quelquefois à cet effet une voie latérale (fig. 329), sur laquelle les wagonnets viennent se charger au pied des cheminées, sans interrompre la circulation générale.

Dans les chantiers, il faut que la bouche de la cheminée soit toujours couverte de planches, excepté au moment même où l'on y veut *taper* le minerai. Quand il s'agit d'un véritable bure intérieur, on doit pour la même raison barrer avec des chaînes la galerie qui amène en ce point, et ne les enlever que pendant le temps strict de la manœuvre.

Les cheminées présentent l'inconvénient de fatiguer beaucoup le charbon, et de faciliter la production des poussières, qui constituent un danger d'explosion.

Digitized by Google

478 — *Mise en place du remblai.* — On a pour principe de ne jamais remonter le remblai, si ce n'est d'un jet de pelle [1]. C'est ce que les mineurs appellent *restaper*. On cherchera donc à constituer les méthodes d'exploitation de manière que les matériaux, arrivant par le sommet du chantier, y soient simplement versés, et coulent à leur place par la seule action de la pesanteur.

Pour régler cette mise en place, on commence par dresser les parois à l'aide de murs en pierres sèches. On a soin notamment de garnir de pareils revêtements toutes les parois formées par du charbon. Ces portions sont, en effet, destinées à disparaître à un certain moment, et le remblai, que l'on aurait appuyé contre elles sans cette précaution, s'éboulerait infailliblement dans la nouvelle taille. Quelquefois [2], au lieu de murs, on établit des cloisonnements en planches pour maintenir les terres. On entasse ensuite celles-ci à la pelle par derrière.

On apporte un soin spécial à bien bourrer le remblai, et à le claver au faîte, pour le mettre de suite en tension avec le plafond. C'est afin de soutenir celui-ci dès l'abord, de diminuer le tassement futur, et d'éviter la déperdition du courant d'air, ainsi que la formation de nids de grisou. Ce dernier point est d'une importance tellement capitale dans les houillères sujettes à donner du gaz, que le bourrage des remblais y doit être l'objet d'une surveillance des plus attentives pendant l'opération même, car le résultat est impossible à contrôler une fois que les parements sont refermés.

479 — Il est une circonstance, dans laquelle il devient nécessaire que le remblai soit remonté à force de bras. C'est quand il s'agit de combler une *cloche*, qui s'est déclarée dans le plafond. Cette irrégularité ne doit jamais en effet subsister dans une exploitation bien tenue, car le grisou a tendance à s'y loger en raison de sa légèreté spécifique.

On commence, dans ce cas (fig. 330), par établir un grillage solide à la base de cette cloche. On y stratifie en A, B, C, D, E, F,

(1) Voy. p. 545, note 2.
(2) Comme à la Buehne (Aubin, Aveyron).

Digitized by Google

des lits de remblai bien bourré. Puis les hommes se glissent dans l'intervalle qui reste, pour disposer un parement G. Enfin des gamins, se hissant dans l'espace H, qui a été réduit autant que

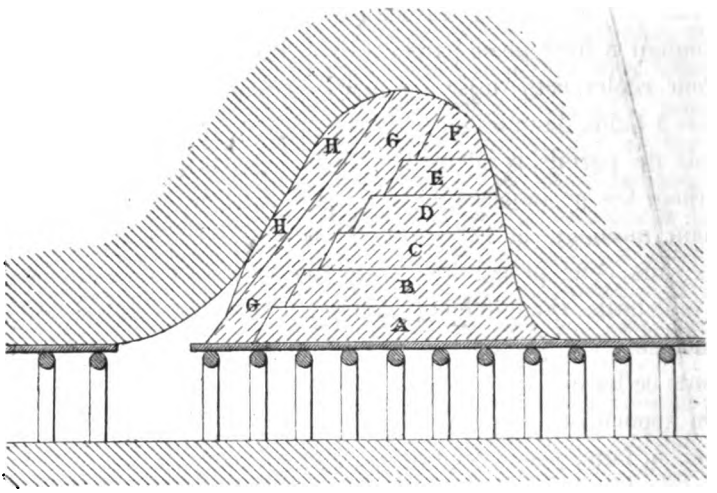


Fig. 330. — Remblayage d'une cloche (coupe verticale).

possible, montent jusqu'au sommet de petits sacs d'argile, qu'ils bourrent dans les moindres vides en reculant ; après quoi l'on achève de fermer le boisage inférieur.

§ 3

AVANTAGES DU REMBLAI

480 — *Enlèvement complet.* — Le principal avantage [1] que présente le principe du remblayage est de permettre de tout enlever,

[1] Bien avant l'essor si utile qu'ont pris dans ces derniers temps les méthodes de remblayage, les avantages de ce principe avaient été mis en relief par l'inspecteur général des mines Baillet du Belloy, professeur d'exploitation des mines et machines à l'École des mines de 1796 à 1832. Il y a eu pour successeur Combes, et, après lui, Callon, suppléant à partir de 1848, titulaire en 1856, suppléé à partir de 1872 par celui qui écrit ces lignes et qui lui a succédé comme titulaire en 1875 jusqu'en 1888, époque où le cours a été divisé en deux chaires distinctes : celle d'exploitation des mines,

Digitized by Google

sans rien laisser. Ce résultat, directement opposé au principe de l'abandon des massifs, ne s'obtient qu'en partie avec celui du foudroyage. Dans l'application, et surtout pour les couches puissantes, il y a toujours, quoi qu'on fasse, un gaspillage plus ou moins important. Avec l'emploi du remblai, au contraire, on peut toujours arriver effectivement à l'enlèvement complet.

Pour mieux dire, ce n'est là qu'une question de dépense. Cette appréciation dépendra dans chaque cas beaucoup moins de la méthode elle-même, que de la valeur absolue de la matière. Par exemple, le minerai de mercure d'Almaden vaut en moyenne 1000 francs le mètre cube massif [1]. On pourra donc utilement grever d'une dépense supplémentaire de 10 francs le prix de revient du mètre cube d'abatage, en vue d'éviter une déperdition d'un centième. Au contraire, cette somme de 10 francs est très comparable au prix total de revient du mètre cube de charbon massif. Par conséquent, les mêmes dépenses accessoires, destinées à augmenter le rendement de la méthode d'exploitation, auraient une bien autre portée dans un charbonnage.

481 — *Montée sur le remblai, passage sous le remblai.* — Le remblayage présente encore l'avantage de fournir aux hommes un sol factice et variable à volonté, qui leur sert à s'échafauder pour atteindre le faîte. Nous avons vu que les éboulis jouent en partie ce rôle dans les méthodes de foudroyage, mais d'une manière moins commode et plus dangereuse (N° 444). Le piétinement de l'ouvrier sur le remblai ne peut d'ailleurs qu'être favorable, car il diminue d'autant l'importance du tassement futur.

Non seulement le mineur peut profiter du remblayage en vue de s'exhausser dans son chantier pour le détail de ses opérations, mais, en considérant l'ensemble de la méthode, on s'élève de tranche en tranche en *montant sur le remblai*. Cependant la nature

confiée à M. Ledoux, et celle des machines, à M. Sauvage. Le cours d'exploitation et machines avait été créé le 19 mars 1783 pour Duhamel, en même temps que l'École des mines elle-même, qui ne comprenait, au moment de sa fondation, que deux chaires Sage occupait alors celle de minéralogie et docimasie.

[1] Certains échantillons des tellurures d'or de Mountain Lion et Keystone (Colorado) ont atteint la valeur de 25000 francs la tonne. (Rolland, *Annales*, 7e, XIII, 159.)

Digitized by Google

des matières employées influera très directement à cet égard. Si elles sont trop meubles, les bois y pénétreront sans résistance, et, le point d'appui se dérobant, le boisage perdra son efficacité, ce qui peut constituer une contre-indication.

En outre il peut être très avantageux, pour empêcher la propagation d'un incendie dans la profondeur, de le couper au pied par l'exploitation d'une tranche dont le remblai, pourvu que sa nature s'y prête, fournira un corroi étanche que le feu ne saurait franchir.

Dans ces divers cas, de même que si la masse est incapable de se tenir en couronne, on renverse l'ordre d'exploitation des tranches. On les prend de haut en bas, en *passant sous le remblai*; mode relativement nouveau, et qui, bien que destiné par la nature des choses à rester d'une application plus rare, s'est cependant beaucoup répandu depuis quelque temps. On retrouve alors l'ordre descendant de tranche en tranche, qui est inhérent au foudroyage, tandis que le principe du remblayage avait comme principal mode d'application l'ordre ascendant.

Pour pouvoir opérer ainsi, il est avantageux d'avoir un remblai capable de faire prise et de présenter une certaine tenue au-dessus du vide, sans quoi l'on se trouverait conduit à exagérer pour lui les moyens de soutènement. A défaut de pareilles matières, on commencera par disposer sur la sole les morceaux les plus gros et les plus plats, en entassant le reste par-dessus, en vue de retrouver, en tranche inférieure, un plafond plus aisé à soutenir. On étale même à terre, s'il est nécessaire, des garnissages en bois, qui se trouvent plus tard tout placés quand on revient par-dessous, et facilitent alors la pose des chapeaux et des montants. Ces derniers devront être placés le gros bout en haut, pour que la conicité apporte un certain obstacle à leur enfoncement, quand la charge donne. On voit, en effet, sous cette action, percer dans la taille les bois supérieurs, dont on est obligé de scier des tronçons.

Si le remblai est trop mauvais, le mode descendant doit être écarté. On n'en est pas moins obligé, lorsqu'en montant de tranche en tranche on arrive au sommet d'un étage, de passer sous les remblais de l'étage supérieur. On obvie alors à cette difficulté, en abandonnant un estau, ou dans certains cas en jetant, à la base

Digitized by Google

de chaque étage destinée à devenir plus tard le sommet du suivant, des voûtes de maçonnerie, pour soutenir la masse de ses remblais et en reporter la charge sur les épontes.

§ 4

INCONVÉNIENTS DU REMBLAI

482 — *Tassement.* — Le tassement est le phénomène opposé à celui du foisonnement, dont il est d'ailleurs la conséquence [1]. C'est la rentrée des matières ameublies dans un espace moindre que leur volume factice, bien qu'encore supérieur à celui qu'elles occupaient en place, avant d'être remaniées. Les figures 331 à 334

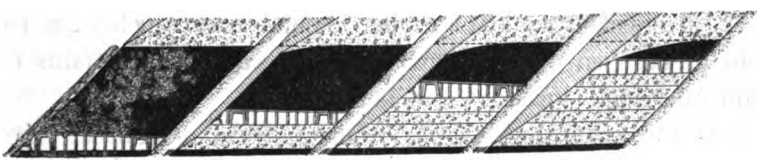


Fig. 331 à 334. — Expériences de M. H. Fayol sur les mouvements des terrains.

mettent en évidence la progression croissante des effets produits par l'enlèvement et le remblayage de plusieurs tranches successives.

La proportion du tassement est extrêmement variable. Très réduite pour des pierres disposées à la main, elle s'élève, avec des matières argileuses, à 50 pour 100, et peut même approcher de 75 pour 100. Le tassement est plus grand le long des voies que dans l'intérieur des massifs, à cause du supplément de charge qu'impose à ces zones frontières la charge de la partie qui surmonte le vide de la galerie. On observe sous ce rapport des différences de 20 à 30 pour 100 à la Grand'Combe, et jusqu'à 40 pour 100 à Commentry.

[1] Henri Fayol, Note sur les mouvements des terrains provoqués par l'exploitation des mines, *Bull. min.*, 2e, XIV, 818. — De Vaux, Asséchement de terrains affaissés par l'exploitation en Westphalie, *Rev. univ. d. m.*, 2e, XVII, 124. — Thanneur, Sur le retrait ou foisonnement négatif des terres argileuses, *Annales des Ponts et chaussées*, août 1886. — Witmeur, Note sur les affaissements du sol produits par l'exploitation des houillères, 1880.

Digitized by Google

Il convient de dire qne l'action des eaux influence notablement le tassement. C'est un secours auquel on ne manque pas de recourir dans les travaux au jour, lorsque l'on tient à provoquer rapidement ce phénomène, de manière à pouvoir utiliser à bref délai un emplacement sur des terres rapportées.

Le tassement est évidemment un inconvénient pour les travaux souterrains, puisque c'est la négation partielle du but que l'on se propose dans le remblayage, à savoir le maintien du toit. Il a pour résultat de fendiller le charbon en couronne, de permettre la diffusion de l'oxygène dans cette masse crevassée, et par suite l'oxydation des carbures d'hydrogène, l'échauffement qui accompagne cette combustion lente, et finalement l'incendie. De plus, le charbon ainsi froissé donne plus de menu que dans son état naturel.

Ces divers effets tendent à limiter le nombre de tranches que l'on peut prendre en ordre ascendant, et forceront dans certains cas à lui substituer le passage sous le remblai.

Il existe cependant certains combustibles d'une dureté excessive [1], pour lesquels ce léger brisement a plutôt pour résultat de faciliter utilement le travail d'abatage en tranches supérieures. Il faut toutefois noter, à titre d'exception très rare, une circonstance inverse, qui a été observée à Commentry et à la Grand'Combe. C'est une sorte de coincement du charbon, qui se resserre sur lui-même dans les porte-à-faux, et devient par là plus difficile à prendre en seconde tranche qu'en première.

483 — *Fracture du terrain.* — Il semble qu'aux avantages énumérés dans le paragraphe précédent l'on doive joindre la conservation de la surface, puisqu'en même temps que l'on crée le vide intérieur on le supprime par le remplissage. Mais, dans la réalité, il y a beaucoup à rabattre de cette abstraction.

En raison du tassement, en effet, le plafond ne saurait rester en place. Il s'affaissera en suivant le remblai sur une portion de la hauteur du chantier. Dans le foudroyage (N° 445), nous avons vu

[1] Comme dans certaines parties des mines du Plat-de-Gier.

Digitized by Google

les premières zones tomber de toute cette hauteur, puis l'éboulement s'atténuer progressivement et parfois s'arrêter à un certain niveau. Ici l'on n'aperçoit aucun motif pour que la masse entière ne descende pas lentement d'un seul bloc, en suivant le tassement du remblai, de telle sorte que la propagation devienne à peu près indépendante de la profondeur (1). S'il en était ainsi réellement, la surface resterait inaltérée. Sa cote d'altitude aurait seule éprouvé une certaine modification, circonstance qui serait en général sans aucun intérêt (2).

Les choses se passeraient en effet de cette manière, s'il était possible qu'une couche se trouvât au même moment remplacée par du remblai sur une étendue illimitée. Mais, dans la réalité, son dépècement marche progressivement, d'après le déplacement qu'éprouvent de proche en proche les fronts de taille. Il existe donc des portions de la superficie qui se trouvent suspendues sur le remblai, tandis que d'autres portent encore directement sur le ferme ; et la séparation est nette et précise entre les deux. Le plafond joue d'après cela, par rapport au remblayage qui se dérobe au-dessous de lui par le tassement, le rôle d'une poutre encastrée, chargée sur sa face supérieure. Il aura tendance à se rompre dans cet encastrement, c'est-à-dire le long du front de taille. La fracture une fois opérée, toute cette partie du terrain s'affaisse avec le remblai, puis les mêmes phénomènes recommencent, quand l'avancement s'est porté plus loin.

Il s'ensuit que la surface sera sillonnée par une série de fentes plus ou moins parallèles, qui auront pour résultat de hacher successivement le terrain. De plus, ces affaissements verticaux s'accompagneront de mouvements de bascule, qui feront *bâiller et ouvrir les lèvres des fentes* (3). On comprend donc combien il s'en

(1) La gare de Saint-Étienne est construite en bois au-dessus des remblais. On la redresse avec des vérins quand cela devient nécessaire. Une partie de la ville se trouve sous-cavée par les travaux et un certain nombre de maisons sont lézardées et crevassées. Il en est de même dans plusieurs autres bassins houillers.

(2) L'affaissement uniforme d'une région peut cependant présenter de graves inconvénients lorsqu'il a pour effet d'abaisser le niveau du sol au-dessous de celui d'une nappe d'eau superficielle.

(3) On peut rapprocher par la pensée cette série de fractures parallèles entre elles de

Digitized by Google

faut que le remblayage respecte la superficie. On pourra, bien entendu, atténuer ses ravages par le choix des matériaux employés et par le soin apporté à les bourrer contre le ciel des tailles, de manière à réduire autant que possible le tassement.

484 — *Investisons.* — En rapprochant ce qui précède des observations présentées à propos du foudroyage (N° 445), on voit que le principe de l'abandon de massifs suffisants reste seul pour sauvegarder d'une manière certaine la surface. Aussi a-t-on soin, comme nous l'avons déjà dit (N° 341), de réserver, sous les parties les plus essentielles, des massifs de protection. Mais, si l'idée est des plus simples, sa réalisation se trouve, par le fait, environnée de grandes difficultés. La détermination rationnelle de ces *investisons* devrait, en effet, s'appuyer sur une notion précise des lois qui président à la propagation des fractures à travers le terrain, afin de défiler la région critique dans un périmètre enveloppé par toutes les cassures que pourront déterminer les bords de ce massif. Or la connaissance de ces lois est encore enveloppée d'une grande obscurité (1).

Elles ont pourtant été l'objet de travaux remarquables (2); mais on comprend à quel point la question est complexe, si l'on réfléchit au grand nombre d'éléments dont dépend la résultante, ainsi qu'à

celles qui donnent lieu aux crevasses des glaciers. Lorsque le fleuve de glace, dans son écoulement lent sur la déclivité qui lui sert de lit, passe d'une certaine pente à une autre plus prononcée, la masse se brise, en franchissant l'arête de ce dièdre fixe, et un bâillement se produit suivant les normales à ses deux faces. Ici, au contraire, c'est la couche des terrains supérieurs qui est fixe, tandis que la cause de fracture (à savoir le déhouillement et le tassement qui en est la conséquence) se déplace parallèlement à elle-même en raison de l'avancement de l'exploitation. Le résultat n'en reste pas moins le même.

(1) Leur importance, au point de vue théorique, augmente encore par cette circonstance, que des villes entières, assises sur des formations houillères, comme Saint-Étienne, Liège, Essen, etc., se voient serrées de près, ou déjà minées par les exploitations.

(2) M. Von Decken, pour le bassin de la Ruhr (*Rev. univ. d. m.*, XXVIII, 197, 260), et M. Schultz (*ibidem*, 1873, 455) se sont spécialement occupés de cette recherche. M. G. Dumont a publié en 1871 un mémoire considérable sur ce sujet (*Des affaissements du sol produits par l'exploitation houillère*, in-4°, Liège, 1871); et il y a été répondu, en 1875, par un travail analogue de *l'Union des charbonnages belges* (*CRM*, février 1876, p. 7). Quelques ingénieurs français ont également publié des observations de ce genre (*CRM*, 1875, avril, 6; septembre, 1; octobre, 5; 1876, février, 6).

Digitized by Google

la difficulté et à la rareté des observations. M. Dumont assimile, comme nous venons de le faire sommairement, un banc *horizontal* du toit à une poutre encastrée, qui doit rompre dans l'encastrement. Il admet que cette loi subsiste, lors même que la couche s'incline jusque vers 68 degrés. La propagation de proche en proche de cet effet dans les strates parallèles a dans ce cas pour effet d'atteindre le sol dans une direction oblique, parfois assez éloignée de la verticale des chantiers. Des effets de ce genre ont en effet été observés. Il est vrai que l'on peut objecter à cette manière de voir que, l'oblique étant plus longue que la perpendiculaire, la règle de la moindre résistance devrait produire, au contraire, un détachement du terrain suivant un plan vertical. Mais Callon fait observer à juste titre que ce raisonnement, qui serait plausible pour une rupture effectuée d'un seul coup à travers toute la masse, perd sa valeur dans la réalité, car les couches cèdent l'une après l'autre, et chacune par conséquent suivant sa propre ligne de moindre résistance qui est la normale [1].

Lorsque des terrains se trouveront superposés en discordance de stratification, la ligne de propagation de la dislocation se déviera elle-même, et se dirigera suivant la normale des nouveaux plans de joint. Si une couche est contournée, les cassures cessent d'être parallèles entre elles, pour rester normales à la surface courbe. La tendance à la rupture diminue d'ailleurs d'intensité, lorsque l'inclinaison augmente, car la pesanteur n'y intervient plus que par l'une de ses composantes. Il est clair également que, si des failles existent d'avance à travers le terrain, la surface de moindre résistance pourra quitter la normale de la stratification, et s'étendre dans leur plan.

Ces divers énoncés, bien que rationnels, paraissent trop absolus pour se trouver complètement vérifiés dans la pratique. On a fait remarquer notamment que, pour les couches très redressées, la tendance à la rupture par écrasement, venant se mêler à celle de la fracture par flexion transversale, devra incliner les plans de sépa-

[1] Villié, Note sur la délimitation théorique de la zone des affaissements dus aux travaux des mines, *Annales*, 8e, IX, 301.

Digitized by Google

ration suivant des angles variables, sans qu'il soit aisé d'en discerner *a priori* la loi.

485 — Si l'on accepte néanmoins ces formules à titre provisoire, elles apportent un grand secours à la détermination rationnelle des investisons. Nous prendrons comme exemple la préservation d'un puits [1].

L'usage, en pareil cas, pour ne pas dire la routine, impose un

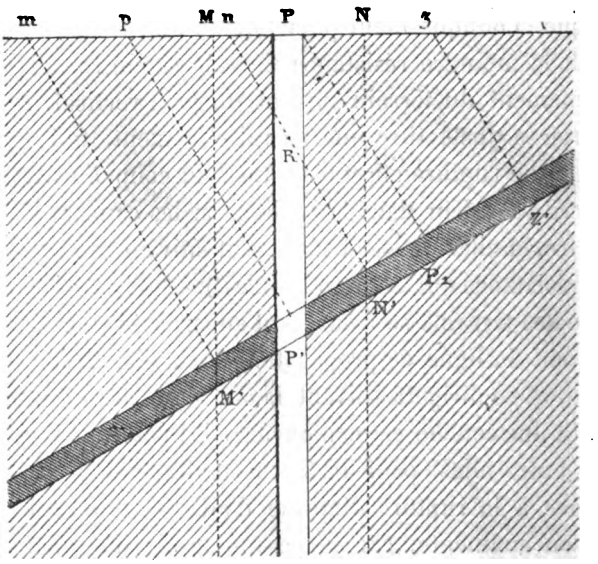


Fig. 335. — Investison (coupe verticale).

certain *rayon de protection*, c'est-à-dire la conservation de la masse à l'intérieur d'une gaine concentrique au puits, dont le rayon est déterminé arbitrairement d'après la solidité du terrain. Mais cette solution est souvent plus nuisible qu'utile pour un gîte incliné.

Si, en effet (fig. 335), on réserve autour du puits P le cylindre MN, c'est-à-dire dans la couche exploitée le massif M'N', on peut remarquer d'une part qu'une de ses moitiés P'M' est inutile, puisque la propagation M'P' *mp* des désordres produits par son déhouillement

[1] Callon, *Cours d'exploitation des mines*, II, 334.

Digitized by Google

n'affectera en rien le puits. Quant à l'autre moitié P'N', elle ne peut être que nuisible, attendu que la cassure N' se propagera suivant N'*n*, et déterminera en R la rupture du cuvelage. Pour assurer au contraire la protection de toute la colonne P'P, il faut conserver sa projection orthogonale $P'P_1$ sur le plan de la couche. Si, en outre, on désire protéger autour de l'orifice une zone P*z* recouverte de constructions, on devra réserver également le massif P_1Z', limité à la projection Z' du bord *z* de cette étendue. Quant à l'aval-pendage, il pourra être pris entièrement. Sur les flancs, en direction, on se limitera à deux plans, menés perpendiculairement au plan de la couche et tangents au cylindre concentrique au puits qui passe par *z*.

486 — M. Henri Fayol a repris très attentivement la question générale des mouvements de terrains, avec le double secours de l'observation directe dans les grandes tranchées de Commentry, et d'expériences très ingénieusement combinées.

Il enfermait dans des caisses, à faces de verre, des stratifications

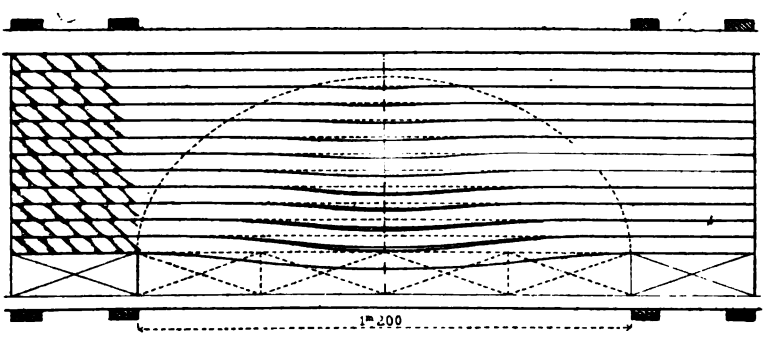


Fig. 336. — Expériences de M. H. Fayol sur les mouvements des terrains.

alternantes de sable sec, de sable humide, de plâtre gâché et solidifié ; à la base se trouvaient des réglettes de bois parallèles entre elles, que l'on enlevait l'une après l'autre, de manière à figurer l'avancement progressif d'une exploitation souterraine. Les éboulements se dessinaient alors dans la masse, et l'on pouvait en relever les détails à travers les faces transparentes.

Digitized by Google

L'énoncé fondamental que l'auteur a dégagé de cette étude consiste en ce que les mouvements du terrain sont limités par une sorte de dôme qui a pour base la surface exploitée. Leur amplitude diminue à mesure qu'on s'éloigne du centre de l'excavation.

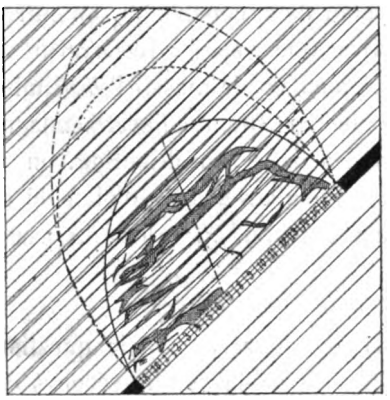


Fig. 337. — Expériences de M. H. Fayol sur les mouvements des terrains.

La figure 336 en donne *a priori* la raison théorique, en montrant que, dans une série de planches superposées et supportées par leurs extrémités, les plus inférieures se déforment davantage en étendue et en hauteur, et celles de la partie supérieure beaucoup moins. Une sorte de demi-ellipse enveloppe le tout.

La figure 337 montre les résultats effectifs déjà modifiés par le pendage de la stratification, qui a pour effet d'écarter de la verticale l'axe du dôme, sans toutefois l'amener jusqu'à la normale; limite absolue que conteste absolument M. Fayol. La hauteur de la zone d'affaissement diminue alors corrélativement.

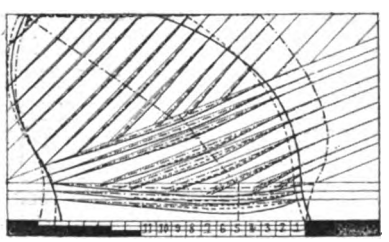


Fig. 338. — Expériences de M. H. Fayol sur les mouvements des terrains.

Les figures 338 et 339 montrent cet effet de plus en plus accusé par une déclivité croissante du pendage, ou, au contraire, partiellement réparé lorsque le recouvrement reprend l'allure horizontale.

Outre l'influence absolue de la verticale, l'auteur rejette également le postulatum de la brisure nécessairement normale à la stratification. La figure 336 montre, d'après ses vues, que la rupture des bancs se fait suivant des plans inclinés, et que les fractures ne se succèdent pas directement en prolongement l'une de l'autre.

Digitized by Google

Les failles préexistantes dans la masse du terrain influencent naturellement le phénomène, en y apportant des perturbations spéciales.

Cette théorie remarquable, qui mérite d'être étudiée en détail dans le mémoire original [1], est venue rendre compte de diverses contradictions apparentes observées dans l'application trop absolue des anciens principes.

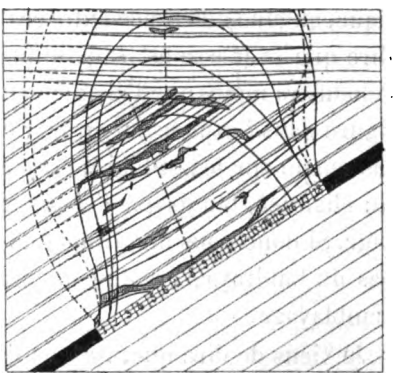


Fig. 359. — Expériences de M. H. Fayol sur les mouvements des terrains.

487 — *Échauffement par affaissement.* — Indépendamment de la production des fractures, on a rapporté au tassement un inconvénient d'un autre ordre. Parmi les causes, en effet, qui peuvent produire l'échauffement, précurseur de l'incendie des charbonnages, certains ingénieurs ont mis en avant la transformation en chaleur du travail développé par la pesanteur, dans l'affaissement qui suit le déhouillement. Cette explication présente un côté spécieux, en raison de l'énorme masse qui se trouve alors mise en mouvement, et de laquelle on peut attendre des effets calorifiques intenses. Mais il me paraît facile d'en préciser la véritable valeur [2]. Elle réside entièrement, à mon sens, dans une distinction fondamentale, selon que l'affaissement s'opère ou non d'une manière régulière au-dessus du champ d'exploitation.

Supposons, en premier lieu, que tout le terrain descende uniformément. Alors l'importance de la masse disparaît; car si le travail, et par suite la chaleur développée, sont proportionnels au poids en mouvement, sa répartition s'effectuant sur cette même masse,

[1] Henri Fayol, Note sur les mouvements des terrains provoqués par l'exploitation des mines, *Bull. min.*, 2e, XIV, 805.

[2] Haton de la Goupillière. De l'échauffement dû à l'affaissement (*Annales*, 7e, XVII, 322). — Durand. Incendies des houillères (*Bull. min.*, 2e, XII, 56). — Tournaire, *Annales*, 8e, V, 429.

Digitized by Google

elle développe une température qui en devient indépendante. S'il s'agit de méthodes de remblai, la masse sera plus grande en général que pour le foudroyage, puisque l'affaissement du terrain se fait alors tout d'une pièce, tandis qu'avec ce dernier principe il peut se limiter en hauteur. Mais cela ne constitue, quant au résultat calorifique, aucune différence entre ces deux cas, puisque nous venons de dire que la masse est sans influence. Au contraire, le remblayage échauffera moins que l'éboulement, en raison du second facteur qui figure dans l'expression du travail, à savoir la tombée. En effet, le tassement sur le remblai n'est jamais qu'une fraction de la hauteur du chantier, tandis que l'éboulement s'effectue sur toute cette hauteur. Si donc nous montrons que l'effet est sans importance dans le cas du foudroyage, cette conclusion s'étendra *a fortiori* à celui du remblayage.

Je viens de dire que, lors de l'éboulement, les matières tombent de toute la hauteur h de la taille. Ceci n'est vrai cependant que pour la partie inférieure. Les régions les plus élevées de la propagation n'éprouvent en ce qui les concerne qu'un déplacement moindre. On pourrait donc admettre pour l'ensemble une moyenne qui serait inférieure à h. Mais il sera cependant plus juste d'accepter, comme je l'ai dit tout à l'heure, la hauteur totale h, car nous devons ici nous préoccuper, non de la moyenne, mais du maximum ; et d'ailleurs la partie inférieure, qui éprouve ce déplacement h, est en même temps celle qui se trouve le plus immédiatement à portée de mettre le feu dans les travaux, s'il y a lieu.

Si donc nous envisageons l'unité de poids, elle fournit un nombre de kilogrammètres égal à h. Ceux-ci se convertiront en $\frac{h}{425}$ calories, et développeront une élévation de température marquée par $\frac{h}{425.C}$, en désignant par C la chaleur spécifique des matières. La valeur de cette dernière donnée, pour les matériaux analogues à des roches ou du charbon, ne paraît pas s'éloigner beaucoup de $\frac{1}{5}$, ce qui fournit pour le nombre de degrés : $\frac{h}{85}$. D'ailleurs, sauf des excep-

Digitized by Google

tions dangereuses, on peut admettre que la hauteur h des chantiers ne dépasse pas 5 mètres, ce qui réduit la valeur définitive à $\frac{1}{17}$ de degré centigrade, résultat absolument insignifiant. Il importe, en outre, de remarquer qu'en transformant en chaleur la totalité du travail de la pesanteur, nous avons encore exagéré l'élévation de température, puisqu'une partie de ce travail est employée à effectuer des déformations.

488 — On voit par là que, si l'on suppose le tassement rigoureusement uniforme dans sa répartition, son influence doit être considérée comme nulle pour l'échauffement. Mais il n'en sera plus de même si l'on admet des porte-à-faux, des renvois de pression, des arcs-boutements; en un mot, un mécanisme quelconque de concentration des forces, et par suite du travail de frottement, ou enfin de la chaleur, sur des points spéciaux. Alors la masse ne disparait plus comme dans le cas précédent, car le travail reste proportionnel au poids en mouvement, tandis que la chaleur ne se répartit plus, pour une grande partie du moins, que sur une quantité de matière beaucoup plus restreinte. On peut ainsi atteindre par la pensée tous les degrés d'échauffement, et bien certainement on en rencontrera parfois plus qu'il n'est nécessaire pour déterminer l'inflammation des charbons qui s'y trouveraient prédisposés par leur nature. Il en sera surtout ainsi, lorsque des substances spéciales, telles que les pyrites, viendront à subir une friction intense. On doit remarquer de même que, si des masses d'air confinées dans un milieu étanche, venaient à être comprimées par un tassement brusque, elles pourraient s'échauffer, comme dans le briquet à air, et provoquer l'inflammation du combustible.

L'affaissement uniforme n'existe pour ainsi dire pas dans la réalité, et le phénomène procède, au contraire, par coups de charge successifs. Mais la conclusion pratique n'en doit pas moins être de développer le plus possible, dans les méthodes d'exploitation, la tendance à l'uniformisation et à la régularité des affaissements, en évitant, autant qu'on le pourra, les mouvements brusques dont l'in-

Digitized by Google

fluence a été, en effet, constatée dans la réalité, en ce qui concerne l'inflammation des gîtes de combustible.

Ajoutons enfin que le tassement devient une cause très directe d'échauffement, lorsqu'il contribue à désorganiser des masses fermentescibles en permettant la diffusion au milieu d'elles de l'oxygène de l'air.

489 — *Dépense du remblayage.* — Il faut encore mentionner, comme l'un des plus notables inconvénients du remblayage, la dépense supplémentaire qu'il ajoute au prix de revient.

Le volume de remblai qu'un homme peut mettre en place, par poste de travail, varie, suivant les circonstances, de 6 à 15 mètres cubes.

Le prix du remblai de carrière reste compris, pour une tonne de houille, entre 0 fr, 45 et 1 fr, 60; et le plus souvent même entre 0 fr, 80 et 1 fr, 20. Si on le rapporte au mètre cube de remblai, l'on peut prendre pour les valeurs extrêmes 0 fr, 80 et 2 fr, 50; et comme limites plus ordinaires : 1 fr, 50 à 2 francs [1]. Dans ce total, et sauf la variabilité particulière à chaque cas, les frais d'exploitation du remblai peuvent figurer pour trois cinquièmes environ, et ceux de la mise en place, pour les deux autres cinquièmes.

490 — En vue de diminuer ces dépenses tout en conservant, au moins en partie, les avantages du remblayage, on emploie dans certaines mines [2] des *remblais partiels*. C'est ordinairement sous l'empire de la nécessité, en raison tout à la fois de l'insuffisance des remblais que l'exploitation fournit à pied d'œuvre, et du prix trop élevé qu'exigerait l'introduction de matériaux extérieurs.

On dispose alors, de distance en distance, des *piliers à bras* en pierres sèches, et surtout des parements continus le long des galeries que l'on veut maintenir pour les communications et la cir-

[1] Amiot, *Annales*, 7e, IV, 165. — Fayol, *CRM*, 1878, 121.

[2] Beaubrun, Ronchamp, Mariemont, Sarre-et-Moselle, Albertschacht (Sarrebrück), Carpano (Istrie), une partie des mines du Pas-de-Calais et un très grand nombre de houillères anglaises.

Digitized by Google

culation de l'air. La pénurie de remblai devient souvent telle, que de semblables méthodes finissent par se rapprocher plutôt du principe de foudroyage que de celui du remblayage, quand celui-ci est appliqué d'une manière aussi insuffisante.

§ 5

MÉTHODES DE REMBLAYAGE

491 — La réalisation effective du principe général de l'emploi du remblai comporte encore plus de variations qne nous ne l'avons vu pour le foudroyage. Nous commencerons par répartir ces méthodes en deux groupes, relatifs aux *gîtes minces* et aux *gîtes puissants*.

En ce qui concerne les gîtes minces, nous envisagerons d'abord le cas où le degré de solidité du gisement et de son toit amène à restreindre les dimensions du chantier dans d'étroites limites, et à terminer toute son élaboration, attaque et remblayage, sur cette échelle réduite, avant d'en ouvrir un autre semblable. Cette localisation ne s'en concilie pas moins avec une activité de production aussi grande que l'on voudra, par la mise en train simultanée sur divers points d'un nombre suffisant de pareilles tailles. Cette succession d'alvéoles juxtaposés finit par embrasser tout le champ d'exploitation. De là un premier système, auquel nous donnerons le nom de *méthode des chambres*.

Le système opposé consiste à se développer en grandes tailles, en imprimant au chantier un caractère d'unité qui le sépare du mode précédent, de même que dans l'application du foudroyage, le longwall se différencie des méthodes de massifs. La grande taille envahit progressivement tout le champ d'exploitation qui lui est offert, en s'y propageant d'une manière continue par le déplacement incessant de son front de taille, et non plus par l'accumulation successive de chantiers distincts, dont l'un termine son évolution, tandis que d'autres commencent à naître. On trouverait encore, pour exprimer cette différence, une analogie avec celle qui sépare, dans

Digitized by Google

l'analyse mathématique, les grandeurs continues capables de dépasser toutes limites sans avoir omis aucune valeur intermédiaire, et les nombres entiers, qui arrivent au même résultat par l'addition successive d'unités distinctes et indivisibles, suffisamment multipliées. Ce second système constitue la *méthode des grandes tailles*.

Son dispositif présente, sous le rapport géométrique, une grande analogie avec celui du longwall. Il n'en diffère au fond que par la substitution de l'emploi du remblai à la chute du toit. On y trouve donc, pour les mêmes motifs, un ensemble de décrochements, soit en plateures, soit en dressant. Mais la pesanteur intervenant de manières très diverses, suivant ces deux cas, sur les divers éléments de cette configuration, il s'ensuit, dans l'application, des différences assez profondes pour qu'il convienne d'envisager à part l'hypothèse du redressement de ce diagramme dans un plan très incliné; nous en ferons alors la *méthode des gradins*.

492 — En ce qui concerne en second lieu les gîtes puissants, l'artifice de la division en tranches ramène ce cas à celui des gisements minces. Nous rencontrerons donc tout d'abord les deux modes essentiels qui ont déjà figuré dans l'application du foudroyage, suivant que l'on emploie pour cette subdivision des plans horizontaux ou parallèles à la stratification. Ils nous fourniront la *méthode inclinée* et la *méthode horizontale*.

Il y a lieu de leur en ajouter une autre : *la méthode verticale*, qui répond à une nécessité toute particulière, et s'applique spécialement aux charbons très inflammables. La condition *sine qua non* est en effet alors de s'élever rapidement de la base au faîte, en colonne verticale, au-dessus d'une projection horizontale assez restreinte pour que la durée de ce déhouillement n'atteigne pas celle d'un échauffement notable de la pile.

Nous terminerons enfin par la description d'une méthode spéciale, appelée le *rabatage*, dont le principe, élégant et ingénieux, qu'il serait prématuré de décrire en ce moment, peut se superposer à un certain nombre des méthodes précédentes, pour en constituer autant de variantes.

Digitized by Google

Il convient d'ajouter toutefois que les deux premières méthodes comprennent à elles seules la presque totalité des cas, la méthode horizontale principalement. Les deux dernières ne peuvent être considérées que comme accessoires, au point de vue de la fréquence de leur application, surtout en ce qui concerne la méthode verticale qui tend de plus en plus à disparaître.

Sous ces réserves, l'application du principe de remblayage à la constitution des méthodes d'exploitation peut être formulée par le tableau suivant :

- PRINCIPE DU REMBLAYAGE
  - GÎTES MINCES
    - MÉTHODE DES CHAMBRES,
    - MÉTHODE DES GRANDES TAILLES,
    - MÉTHODE DES GRADINS ;
  - GÎTES PUISSANTS
    - MÉTHODE INCLINÉE,
    - MÉTHODE HORIZONTALE,
    - MÉTHODE VERTICALE,
    - MÉTHODE DE RABATAGE.

Digitized by Google

CHAPITRE XX

MÉTHODES DE REMBLAYAGE — GITES MINCES

—

§ 1

MÉTHODE DES CHAMBRES

493 — *Constitution du chantier élémentaire.* — Chaque chantier élémentaire s'appuie de toute nécessité sur une voie de communication, que l'on utilise bien entendu pour en desservir à la fois un certain nombre. Il peut être établi d'après deux modes fondamentaux, selon qu'il devra percer dans la voie parallèle la plus proche du réseau général de traçage, ou au contraire s'arrêter en cul-de-sac à mi-distance. Dans ce dernier cas, le massif long compris entre ces deux galeries est pris par deux systèmes de chantiers, partant respectivement des voies qui le bordent, en même temps que chaque galerie sert, de son côté, de base d'opération pour deux systèmes de culs-de-sac établis sur ses deux flancs.

Cette dernière formule s'emploiera ordinairement en plateure; le roulage pouvant alors se faire de la même manière des deux côtés de la galerie, ce qui n'aurait pas lieu avec un pendage prononcé. En outre, dans un gîte incliné, le grisou aurait tendance à stationner au front de taille du chantier en remonte, et l'eau dans le fond des ateliers en descente. Avec un pareil gisement, le chantier percé de part en part convient beaucoup mieux, à tous les points de vue. D'une part, la ventilation s'y développe d'une manière ascensionnelle, l'air entrant à la base et sortant par le sommet. En outre, le roulage s'y fait partout en descendant; le remblai arri-

Digitized by Google

vant par la galerie supérieure, et le charbon sortant par la voie de fond.

494 — Le cul-de-sac peut être constitué de diverses manières, suivant le degré de solidité du toit et du massif, qui permet de l'ouvrir sur une largeur plus ou moins grande [1].

1° *Attaque et remblai simples.* — Le cas le plus simple est réservé

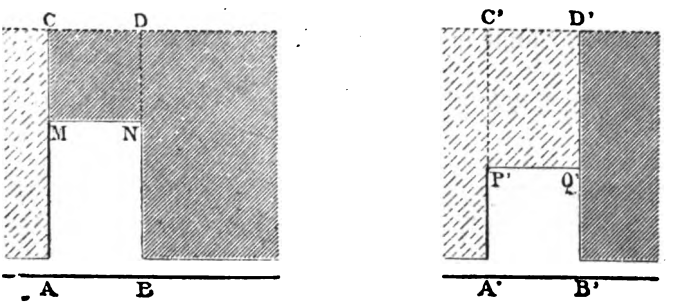


Fig. 340 et 341. — Méthode des chambres. Attaque et remblai simples. Périodes directe et rétrograde.

pour la moindre solidité (fig. 340). Pour prendre le rectangle ABCD, que nous supposerons de 2 mètres de largeur, afin de fixer les idées,

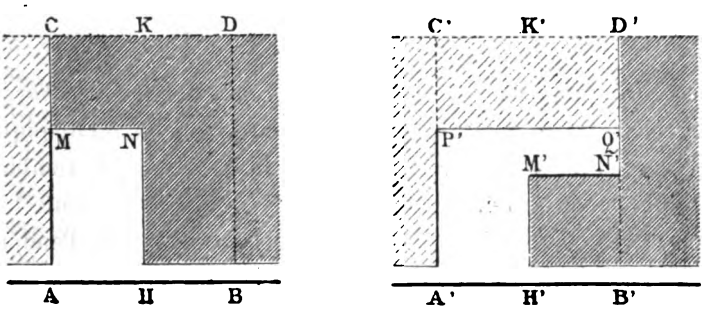


Fig. 342 et 343. — Méthode des chambres. Attaque double et remblai simple. Périodes directe et rétrograde.

on attaque directement en AB, en poussant le front de taille MN jusqu'au fond CD; après quoi l'on remblaye (fig. 341), en rétro-

[1] Ces types gradués sont très méthodiquement employés à la Béraudière (*Notice* sur la Société anonyme de Montrambert et la Béraudière, in-8°, 1878, Saint-Étienne, p. 46).

Digitized by Google

gradant de C'D' en P'Q', et jusqu'en A'B', pour rétablir le parement de la galerie.

2° *Attaque double et remblai simple.* — Si la solidité permet de donner une largeur double à la taille, on attaque sur la moitié seulement AH (fig. 342) de la largeur AB, et l'on avance en MN jusqu'au fond CK. A ce moment, on tourne d'équerre deux fois de suite, et l'on revient en arrière de K'D' en H'B' (fig. 343), en attaquant en M'N' la seconde moitié du lopin, et se faisant suivre par le remblai sur toute la largeur P'Q'.

3° *Attaque simple et remblai double.* — Avec un degré de plus

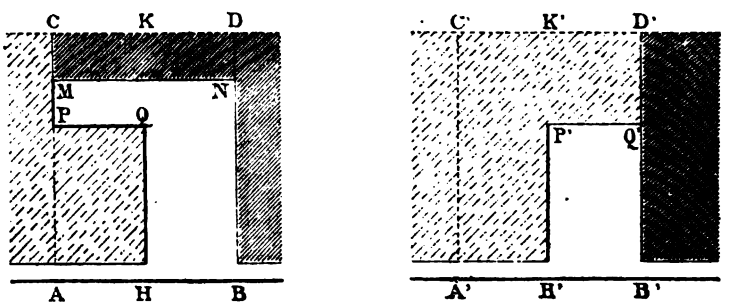


Fig. 344 et 345. — Méthode des chambres. Attaque simple et remblai double. Périodes directe et rétrograde.

de solidité, l'on conserve les dimensions de cette seconde variante, mais on abat plus au large, pour améliorer le rendement du piqueur. On laisse alors supporter la moitié de la travée par le remblai, et non plus par le ferme. On attaque en AB (fig. 344) sur toute la largeur, et l'on pousse le front de taille MN jusqu'en CD. Pendant ce temps, on se fait suivre par le remblai PQ sur la moitié de la largeur, en réservant l'autre pour le roulage. Quand on est arrivé à fond (fig. 345), on remblaye en P'Q' la seconde travee, en reculant de K'D' jusqu'en H'B'.

4° *Attaque simple et remblai triple.* — Pour les charbons très solides, on embrasse d'un seul coup (fig. 346) une largeur AB double de celle des deux variantes précédentes, et quadruple de la

Digitized by Google

première. On pousse le front de taille MN jusqu'au fond CD. Pendant cet intervalle, on se fait suivre par le remblai PQ sur la moitié seulement de la largeur, en réservant les deux autres quarts pour l'entrée du remblai et la sortie du charbon, les véhicules circulant toujours dans le même sens. Quand on est arrivé à fond (fig. 347), l'on remblaye les deux rues à la fois en P'R' et Q'S', en reculant de C'K' en A'H', et de D'J' en B'I'.

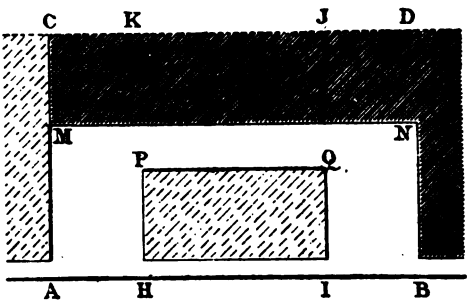


Fig. 346. — Méthode des chambres.
Attaque simple et remblai triple. Période directe.

495 — Passons maintenant aux chantiers ouverts par les deux extrémités. Ils comportent eux-mêmes deux variantes, selon que le degré de solidité limite à une très faible largeur, ou qu'il permet au contraire de s'étendre davantage.

1° *Attaque et remblai successifs. — Atelier rectiligne.* — Pour prendre le rectangle ABCD (fig. 348), l'on attaque en AB et l'on pousse le front de taille MN jusqu'en CD. A ce moment, on verse le remblai du haut C'D' du sous-étage (fig. 349). Si la pente est suffisante, les matières viennent se placer d'elles-mêmes par la pesanteur en P'Q', dans la partie inférieure du chantier dont on a commencé par rétablir le parement A'B'. Au fur et à mesure de la montée du remblai, on recouvre en outre la paroi B'D' d'un mur en pierres sèches.

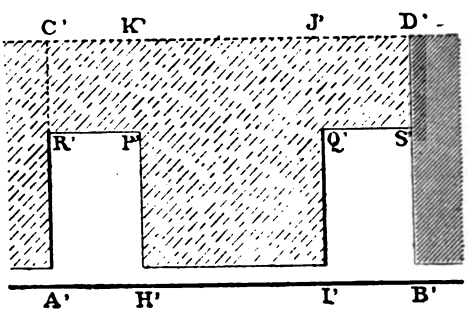


Fig. 347. — Méthode des chambres.
Attaque simple et remblai triple. Période rétrograde.

Dans ces conditions il n'est plus nécessaire, comme pour tous

Digitized by Google

les types du mode en cul-de-sac, d'attendre que l'atelier soit terminé avant d'en ouvrir un autre à la suite. On peut attaquer par le pied un nouveau chantier, dès que le remblayage a commencé à

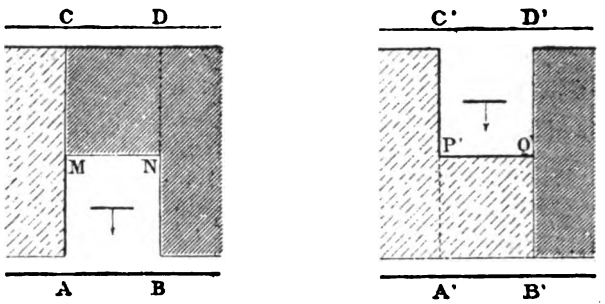


Fig. 348 et 349. — Méthode des chambres. Atelier rectiligne. Périodes d'abatage et de remblayage.

s'élever, et sans avoir besoin pour cela qu'il ait atteint le sommet de l'ouvrage.

2° *Attaque et remblai simultanés. — Atelier en baïonnette.* — Le travail destiné à prendre un rectangle ABCD (fig. 350) porte à la

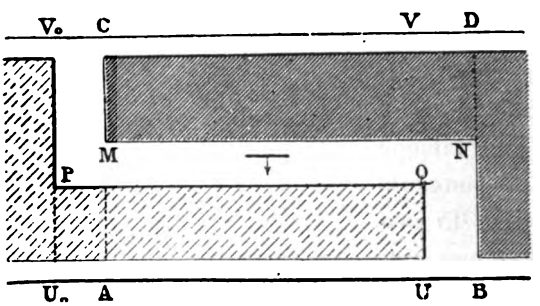


Fig. 350. — Méthode des chambres. Atelier en baïonnette.

fois sur ABCD lui-même, et sur une bande ACU_0V_0, restée libre après l'exploitation du rectangle précédent [1]; de même que la bande BDUV, qui va rester ouverte à la fin du dépilage actuel, jouera à son tour le rôle correspondant pour le déhouillement du rectangle suivant.

[1] Ces rectangles atteignent 10 mètres de front dans la mine de Bosmoreau (Creuse).

Digitized by Google

La bande située sur le flanc du lopin, du côté vers lequel progresse l'exploitation, figure donc deux fois dans les opérations. La première fois, comme en BDUV, elle forme un couloir de sortie par le bas pour le charbon, actuellement ouvert en BNUQ, et ménagé pendant la pose ascendante du remblai UQU_0P. Ce premier couloir va toujours en s'accroissant vers le haut, à mesure que le front de taille MN, originairement attaqué en AB, se porte vers la partie supérieure CD; le remblai le suivant en PQ, depuis UU_0 jusqu'à VV_0.

Dans la seconde période, représentée par rapport au rectangle actuel en ACU_0V_0, les fonctions de cette bande s'intervertissent. Elle forme pour le remblai un couloir d'entrée par la partie supérieure, lequel, ouvert du haut en bas à l'instant initial, va toujours en se raccourcissant par la base, et à mesure que progresse le remblai.

De cette manière, le lopin ABCD est déhouillé d'un seul coup suivant AB, et remblayé au contraire en deux fois, à savoir : en AMUQ pour la plus grande partie, par la marche ascensionnelle du remblai jusqu'en ACUV, pendant l'exploitation du rectangle actuel, et plus tard pour la partie BNUQ poussée jusqu'en BDUV, lors du déhouillement du rectangle suivant.

Pour cette description des divers dispositifs de l'atelier élémentaire de la méthode des chambres, je me suis placé ici exclusivement au point de vue géométrique. Les détails relatifs au boisage prennent naturellement beaucoup d'importance dans l'organisation des chantiers, mais ils ont été envisagés à part au chapitre IX, et il suffit de signaler l'intérêt capital qui s'attache dans chaque cas à une bonne coordination de ces deux ordres de travaux, eu égard aux conditions spéciales des gisements.

496 — *Mode direct.* — Quant à la disposition générale à donner à l'ensemble de ces tailles, la méthode des chambres peut s'appliquer suivant deux modes distincts : *direct* et *rétrograde*, c'est-à-dire sans ou avec traçage; différence très importante, que nous avons déjà rencontrée dans les méthodes du foudroyage. Nous les expliquerons en supposant, pour fixer les idées, qu'il s'agisse de chambres percées de part en part.

Digitized by Google

Dans le mode direct, ou sans traçage (fig. 351) [1], on ménage sur le flanc du plan incliné un massif de protection, traversé seulement par un certain nombre de galeries costresses. Au delà de ce massif, on branche sur chacune d'elles une série de chantiers, appar-

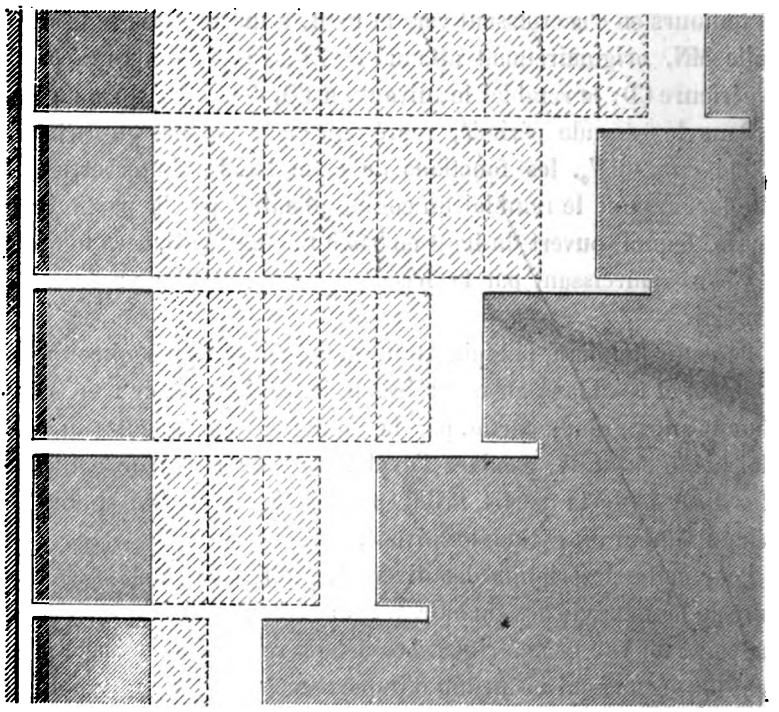


Fig. 351. — Méthode des chambres. Dépilage direct sans traçage (coupe par le plan du gîte).

tenant à l'un quelconque des types énumérés ci-dessus, dont le choix sera dicté par les circonstances particulières à chaque cas. Le déhouillement des massifs d'amont-pendage est en avance sur ceux d'aval, ordinairement de deux largeurs d'atelier. Les niveaux servent à rouler jusqu'à la tête de l'ouvrage le remblai descendu par le haut

[1] Employé à Montvicq (Allier), à Bert dans la couche n° 4, à la Buehne (Aubin), à la Grand'Combe, et dans une grande partie du bassin de la Ruhr. La largeur des piliers varie en Westphalie de 5 à 12 mètres; celle des tailles de 2 à 10 mètres, suivant la nature du toit et du mur, la puissance, les intercalations.

Digitized by Google

du plan incliné, et d'autre part les charbons depuis le pied du chantier jusqu'au plan, par lequel ils descendent à la voie de fond.

Ces niveaux sont ménagés dans les remblais, au fur et à mesure de la progression de l'appareil ; on les allonge d'une largeur de chantier, toutes les fois qu'un atelier étant achevé, il s'agit d'en brancher un nouveau. On voit donc qu'il n'y a dans ce système, à

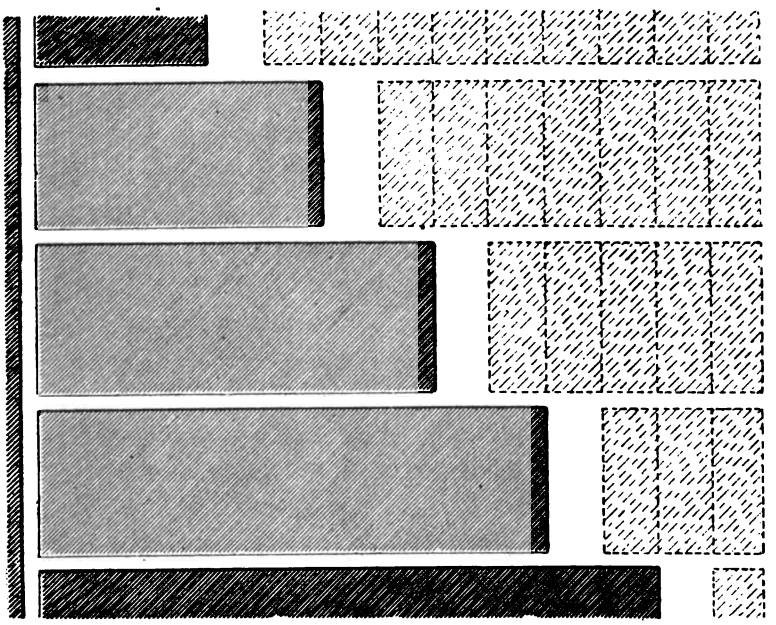


Fig. 552. — Méthode des chambres. Dépilage rétrograde avec traçage (coupe par le plan du gîte).

proprement parler, aucun traçage. Dans le cas où, le gîte étant mal réglé, on pousserait à une certaine distance ces costresses en reconnaissance, elles figureraient, même alors, plutôt à titre de recherches que de traçage, le développement de l'exploitation ne nécessitant pas, par son principe même, une telle extension.

Il arrive fréquemment que l'on respecte, pendant toute la durée de l'étage, le pilier long du haut et celui du bas, pour mieux protéger les mères-galeries du charbon et du remblai, et en même temps pour constituer ce quartier à l'état de panneau circonscrit

Digitized by Google

entre des massifs isolants. Ces derniers sont alors repris à la fin, au moment d'abandonner le quartier.

497 — *Mode rétrograde.* — Quand on trouve trop d'inconvénients à ménager dans le remblai les voies de roulage, en raison des réparations qu'elles entraînent, et des pertes d'air dont elles

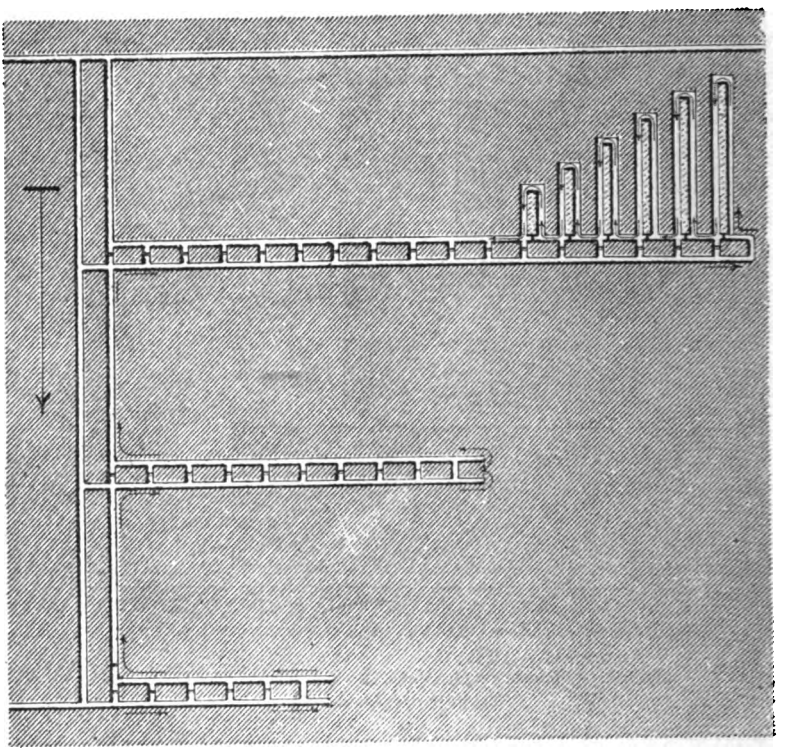


Fig. 353. — Méthode des chambres. Dépilage avec piliers longs repris (coupe par le plan du gîte).

sont l'occasion, on les trace en plein massif, en se portant de suite aux limites du champ d'exploitation, comme dans les méthodes de foudroyage (fig. 352), puis on bat en retraite, en dépilant ces piliers longs à l'aide de chambres remblayées. Les galeries vont alors toujours en se raccourcissant par les progrès du déhouillement, au lieu de s'allonger progressivement comme dans le cas précédent. Ce second système est moins employé que le premier.

Digitized by Google

498 — *Dépilage avec piliers repris.* — Dans les explications qui précèdent, nous supposons les chantiers contigus et ouverts consécutivement, sans qu'on laisse entre eux aucun intervalle. C'est le cas le plus simple (1). Depuis quelque temps on a développé sur de grandes dimensions les diagrammes précédents. Le chantier élémentaire prend d'après cela lui-même plus d'importance. On ouvre alors ces chambres de deux en deux largeurs (fig. 353), et l'intervalle qui sépare chaque taille de la suivante est pris en rétrogradant vers la costresse, une fois que cet atelier est arrivé au massif de protection laissé à l'aval-pendage du niveau supérieur, pour être enlevé quand on abandonne cette costresse (2).

Ce dépilage en retour comporte lui-même deux types distincts, selon qu'on le conduit suivant la pente, comme nous venons de le faire pour l'ouvrage direct, ou que l'on partage l'entre-deux en petites enlevures suivant la direction, que l'on prend consécutivement en chassant. Cette dernière conception réalise, comme on le voit, à deux degrés successifs, la notion de la division en chambres distinctes : d'abord pour dépiler le massif long parallèle à la direction, au moyen de chantiers disposés suivant la pente, puis pour déhouiller les piliers longs que l'on vient de réserver en inclinaison, au moyen de chambres ouvertes en direction (3).

499 — Il existe enfin une troisième variante (fig. 354), dans laquelle le pilier long n'est réservé qu'en partie. On le découpe comme une bande d'échiquier, en y déhouillant et remblayant les cases de deux en deux, et conservant les autres pour être enlevées ultérieurement. Ce dispositif un peu compliqué se justifie par deux motifs distincts.

C'est, en premier lieu (4), pour se procurer plus de surface à remblayer que ne pourrait en offrir la foncée directe, quand on

(1) Il se voit au Treuil (Saint-Étienne), à Mariemont (couche Nickel), à la mine d'anthracite de Saint-Pierre-la-Cour (Mayenne).

(2) Comme aux Plamores (Allier); à Aberaman (South-Wales), Pemberton; Sagor (Styrie); Theresienschacht, près Ostrau (Moravie).

(3) Ce dernier système se rencontre à Heinitz et Gerhardt-Grube (Sarre). On l'emploie également pour le déhouillement des tranches horizontales de Saint-Éloy (Puy-de-Dôme).

(4) Comme à Molières (Gard).

Digitized by Google

se trouve encombré par les déblais fournis par le coupage spécial des voies latérales que l'on y ménage sur les deux flancs, pour la circulation de l'air et des véhicules.

C'est, en outre, afin que le toit se trouve mieux soutenu que par le

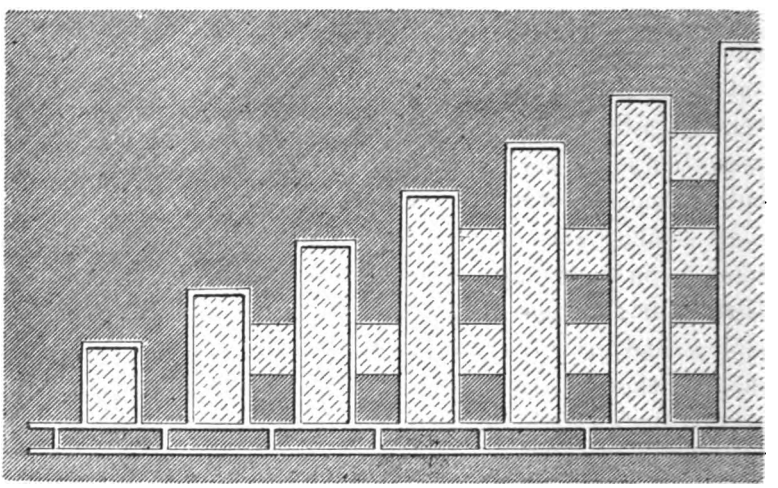


Fig. 354. — Méthode des chambres. Dépilage avec piliers repris en échiquier (coupe par le plan du gîte).

remblai seul, en vue de retarder le plus possible sa dislocation, si l'on craint l'invasion des eaux supérieures [1]. De cette manière, on ne s'en trouve gêné que pendant la période, relativement courte, qui est consacrée à l'enlèvement de tous les piliers tournés, au moment d'abandonner définitivement le district.

§ 2

METHODE DES GRANDES TAILLES

500 — *Base d'opérations.* — La méthode des grandes tailles est, sous le rapport géométrique, analogue à celle du longwall working

[1] Comme à la mine de lignite de Castellane (Gréasque, Bouches-du-Rhône), dans laquelle l'eau des *mouillères* crée une complication sérieuse.

Digitized by Google

outwards [1]; seulement le remblayage y remplace la chute du toit. Elle consiste encore (fig. 321) à brancher consécutivement de grandes tailles sur une artère fondamentale qui progresse en avant de la première, à une distance suffisante pour éclairer la marche.

Bien que l'on puisse encore en principe, comme dans le longwall, établir cette base d'opérations en perçant deux voies conjuguées dans le massif, on emploie ordinairement, avec les méthodes de remblayage un procédé différent. On conduit alors une taille unique, en coupant, s'il est nécessaire, le toit ou le mur vers les extrémités de sa largeur, de manière à se procurer la hauteur nécessaire pour le passage des chevaux. On utilise les matériaux ainsi obtenus, pour partager cette taille en deux galeries distinctes, à l'aide d'un épais mur en pierres sèches dressé suivant son axe. Les terres sont pelletées entre ses deux parements, de manière à le rendre aussi étanche que possible pour l'air [2]. Ces deux travées jouent alors le rôle de voies jumelles. Le courant arrive par l'une, passe à l'avancement, et revient par l'autre jusqu'à la première grande taille, dans laquelle une porte d'aérage, barrant la galerie de retour, le force à s'engager pour lécher tous les décrochements du front de taille.

La largeur totale l à donner à ce chantier d'avancement, se trouve déterminée d'une manière précise par la condition de loger exactement son remblai, tout en conservant pour les deux voies les largeurs λ, λ', exigées par les conditions du roulage et de la ventilation. Supposons en effet que, si l'on étalait à terre sur toute la superficie le stérile *foisonné* que fournissent le coupage de la roche et les lits intercalés, il occupât une fraction $\frac{1}{m}$ de la hauteur de la taille. Si nous raisonnons pour un mètre de hauteur, la surface l de front de taille, diminuée de la somme $\lambda + \lambda'$ des vides que

(1) De même que la méthode normale des chambres reproduit géométriquement le diagramme de celle des massifs longs ; et celles de Molières et de Gréasque (N° 499), la méthode des massifs courts ; avec cette même différence que le foudroyage y est remplacé, dans le dépilage, par l'emploi du remblai.

(2) A la mine Saint-Louis des houillères de Saint-Étienne, on a interposé un mur en maçonnerie pour assurer une étanchéité complète.

Digitized by Google

l'on a ménagés, doit être occupée par le remblai $\frac{l}{m}$, fourni par le percement. On a donc l'équation :

$$l - (\lambda + \lambda') = \frac{l}{m},$$

d'où l'on déduit :

$$l = \frac{m}{m-1}(\lambda + \lambda').$$

La méthode des grandes tailles peut être appliquée d après trois modes différents, selon que la base d'opérations est ouverte suivant la direction, l'inclinaison, ou une demi-pente. Les tailles peuvent de leur côté être *montantes*, *chassantes* ou *diagonales* (1).

501 — *Grandes tailles montantes* (2). — Dès que la base d'opérations s'est accrue d'une ou deux largeurs d'atelier, au delà du degré d'avance que l'on veut lui conserver pour éclairer la marche, on ouvre sur son flanc une nouvelle grande taille à la suite de la dernière. Le remblai suit le front de taille (fig. 321), et l'on y ménage une voie montante pour la desserte du chantier. Lorsque la pente l'exige, ce montage est constitué en plan incliné automoteur. Si on limite la base de celui-ci à la plus élevée des deux voies jumelles, comme sur la figure 321, on reportera au delà de de son pied la porte d'aérage, afin d'obliger l'air à s'engager dans le dernier chantier. Mais le plus souvent on fera partir ce montage de la voie de fond inférieure, en remblayant la galerie parallèle, ou *maillage*, au droit de chaque nouvelle taille amorcée.

Fréquemment le front de taille, au lieu d'être tracé suivant une ligne droite horizontale, forme les côtés d'un angle très obtus, dont les parois convergent légèrement des extrémités de la taille vers son plan incliné. C'est en vue de faciliter le *boutage* du charbon

(1) De là *sept* combinaisons *théoriques*, car on ne saurait associer en principe une artère avec des tailles qui lui seraient parallèles, mais on peut accoupler par la pensée deux diagonales d'inclinaisons différentes. Dans la pratique, on ne rencontre que les tailles chassantes ou montantes avec une artère perpendiculaire, et dans quelques cas peu nombreux des tailles diagonales branchées sur une artère chassante, ou, plus rarement encore, montante.

(2) Demanet, Système d'exploitation des plateures par tailles montantes (*Rev. univ. d. m.*, 1887, I, 192). — Cambessédès, Exploitation des veines minces, *Bull. min.* 3e, IX, 540).

Digitized by Google

vers ce plan, en donnant une légère pente à la voie de desserte qui longe le front de taille.

Lorsque le déhouillement s'éloigne trop de la base d'opérations, l'exploitant peut se trouver surchargé par l'entretien des voies montantes qui s'allongent alors outre mesure. Il se procure dans ce cas une base auxiliaire, en ménageant pendant la pose du remblai, à une distance convenable de l'artère fondamentale, une galerie en direction, ou *cross-gate*, qui recoupe toutes les voies montantes. Puis il abandonne, en les remblayant, tous les tronçons de ces dernières qui sont compris entre les deux voies de niveau, à l'exception d'un petit nombre d'entre elles, conservées pour évacuer dans la voie de fond les charbons qui se réunissent dans le cross-gate [1].

502 — *Grandes tailles diagonales.* — Les tailles diagonales, ou

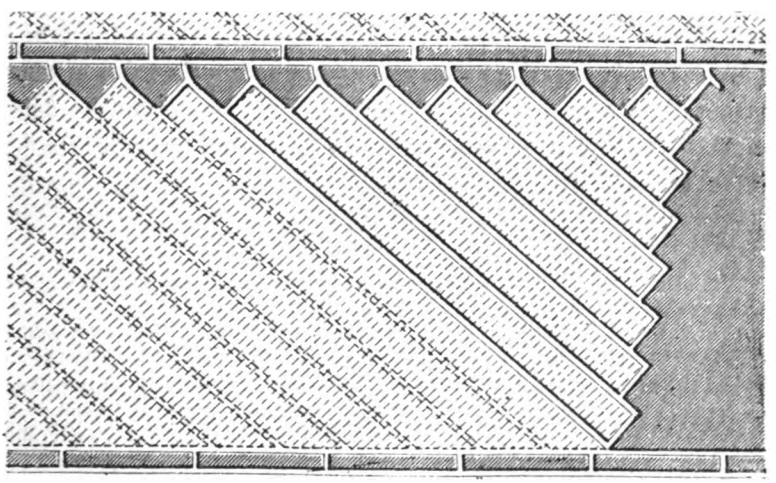


Fig. 355. — Méthode des grandes tailles diagonales (coupe par le plan du gîte).

en demi-pente (fig. 355), rarement employées, ont pour but d'utiliser en vue de l'abatage la *feuille* du charbon, qui n'a aucune

[1] La méthode montante est employée dans les mines d'Aniche (Nord), Bruay, Carvin, Ferfay (Pas-de-Calais), Flénu et un grand nombre d'autres exploitations du bassin franco-belge ; à Epinac, à Molières ; au puits Wendel (Styring), à Albertschacht (Sarrebrück), à Llanelly (Tunnel-Colliery, South-Wales).

Digitized by Google

relation nécessaire avec la direction et l'inclinaison. Elles permettent également de contrarier le sens de la fissilité du toit, ou des filières qui le traversent, et qui pourraient se trouver dans une situation fâcheuse pour la solidité des chantiers. Elles offrent enfin l'avantage de débarrasser le chantier des eaux, au moyen d'une certaine pente, sans que l'on soit forcé d'y affecter tout le pendage de la couche lorsque cette inclinaison est assez prononcée pour gêner le roulage, et obliger d'armer les voies en forme de plan automoteur.

En revanche, ce système présente l'inconvénient assez grave que la moindre modification qui survient dans le plongement du gîte oblige, si l'on veut conserver la même pente de roulage, à changer l'angle que font les galeries avec la ligne de plus grande pente, et par suite à déranger tout le parallélisme des tailles [1]

503 — *Grandes tailles chassantes.* — Dans la méthode chassante, la base d'opérations est ordinairement perpendiculaire sur les tailles, c'est-à-dire disposée suivant la ligne de plus grande pente (fig. 357, 358, 359). Cependant on cherche parfois à éviter de l'armer sous forme de plan automoteur en l'établissant en demi-pente (fig. 356), pour descendre les véhicules, avec le roulage simple et sans câble, jusqu'à la voie-de-fond qui les conduit à l'accrochage [2].

[1] La méthode diagonale est employée dans certaines parties des houillères de Bessèges et de Molières (Marsaut, *Bull. min.*, 1re, V; 2e, V).

On en trouve, en outre, un exemple remarquable dans l'exploitation des *schistes bitumineux cuivreux du Mansfeld.* Cette formation célèbre (Kupferschieferflötz) est située à la base du Zechstein, et constitue une couche régulière d'environ 500 kilomètres carrés, en forme de bassin relevé sur les bords. La teneur est en général de 2 à 3 pour 100 de cuivre, avec 5 kilogrammes d'argent à la tonne. Cependant on exploite encore, lorsque la richesse s'abaisse jusqu'à 1 pour 100. La mine est ouverte depuis l'année 1199, et l'on est parvenu actuellement à la profondeur de 250 mètres. La puissance est seulement de 0m,30. Au mur, on trouve un havrit stérile de 0m,10. Le toit est solide. On entaille donc le mur de 0m,20 sur toute son étendue, pour donner aux tailles un minimum indispensable de 0m,60. Les hommes, au nombre de 20 par taille de 60 mètres, travaillent à col tordu (fig. 117), couchés sur le côté, avec une planchette fixée à la cuisse gauche, et une autre, mobile, pour appuyer l'épaule gauche. J'indiquerai plus loin (N° 648, note) comment le roulage est effectué par de petits herscheurs, qui rampent jusqu'aux galeries de chevaux. Ces dernières ont 2 mètres de hauteur, et sont conduites en voies jumelles (Przybarski, Der Kupferschieferbergbau im Mansfeld'schen Kreise; *Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch*, XXXVII, 41).

[2] Parfois même on multiplie systématiquement ces diagonales, de manière que

Digitized by Google

Dans un cas comme dans l'autre, lorsque le front de taille s'éloigne d'une manière excessive, on supprime d'un seul coup l'entretien de toutes les costresses en ménageant dans la pose du remblai une nouvelle voie thierne, ou l'emplacement d'un autre plan incliné.

La méthode chassante comporte d'ailleurs, quant à l'aménage-

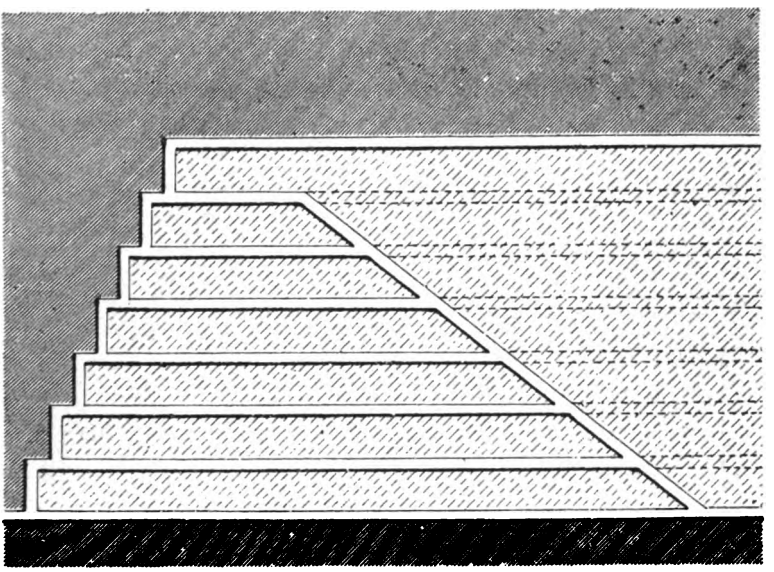


Fig. 356. — Méthode des grandes tailles chassantes avec voies thiernes (coupe par le plan du gîte).

ment des fronts de taille, deux variantes essentielles, selon que la couche est en plateure ou très notablement redressée, auquel cas elle donne lieu à un dispositif caractéristique, qui prend le nom de *maintenages*.

La première variante, relative aux parties plateuses, peut être elle-même conduite suivant trois types distincts.

504 — 1° *Type direct*. — On laisse sur le flanc du plan incliné

chaque grande taille soit desservie par une voie thierne spéciale, à l'extrémité de la costresse qui lui correspond. Ces types étaient autrefois assez employés dans le bassin franco-belge. Callon réagit contre cet emploi des demi-pentes (*Cours d'exploitation*, I, 389), et leur préfère nettement les plans inclinés.

Digitized by Google

(fig. 357) un massif de protection, que l'on se borne à percer par les voies costresses ouvertes à des niveaux successifs. Lorsque l'une de ces galeries a franchi l'épaisseur réservée, on y branche un montage, sur toute la relevée qui la sépare de la voie supérieure; puis on prend la paroi de cet ouvrage pour front d'une taille que

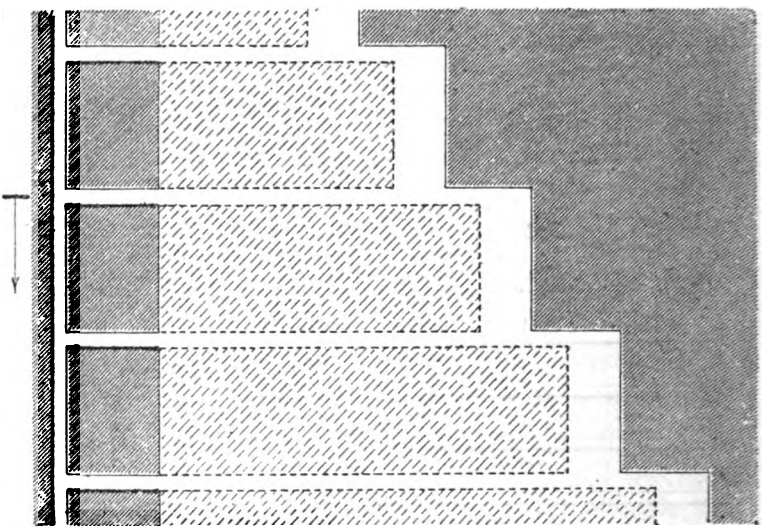


Fig. 357. — Méthode des grandes tailles chassantes, type direct (coupe par le plan du gîte).

l'on conduit en chassant. Les tailles basses étant les plus anciennes, se trouvent en même temps les plus éloignées du plan incliné [1].

503 – 2° *Type inverse.* — Dans un second type, qui est fort peu répandu, l'on commence par monter le plan incliné jusqu'au sommet de l'étage avant d'ouvrir aucune taille (fig. 358), et c'est à partir du haut qu'on les branche successivement derrière le massif de protection, de la manière qui vient d'être expliquée.

[1] On rencontre ce type principal de la méthode des grandes tailles chassantes dans la plupart des houillères des départements du Nord et du Pas-de-Calais, la Béraudière (Couche des Littes), Magny (Ronchamp), Marsanges (Haute-Loire), Villars (Loire); Le Hasard; Albertschacht, Styring, Lhôpital (Sarre-et-Moselle); les mines de fer d'Hayange (Lorraine); les calcaires argileux plombifères de Tarnowitz (Silésie); les carrières de pierre à bâtir des environs de Paris.

Digitized by Google

C'est donc à l'amont-pendage que se trouveront alors les tailles les plus avancées.

Ce système a pour but, en supposant que l'on ne se trouve pas pressé pour la mise en activité du quartier, de terminer les tailles supérieures les premières, afin de pouvoir alors supprimer les

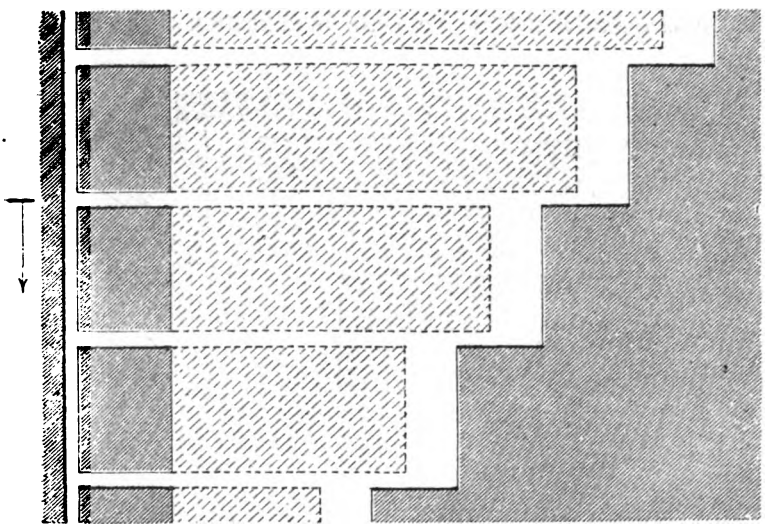


Fig. 358. — Méthode des grandes tailles chassantes, type inverse (coupe par le plan du gîte).

tronçons correspondants du plan incliné, ainsi que les frais d'entretien correspondants; tandis que, si l'on finit par le haut, la totalité du plan reste nécessaire jusqu'au dernier moment pour desservir cette partie [1].

506 — 3° *Type rétrograde.* — Les deux appareils précédents ont l'avantage d'être sans traçage, mais avec l'inconvénient corrélatif d'obliger à entretenir des voies de communication au milieu des remblais. Lorsque les circonstances rendent cet assujettissement particulièrement fâcheux, on commence (fig. 359) par tracer les costresses dans le ferme, non plus seulement à travers

[1] Cette méthode est appliquée dans la mine Simon, à Graissessac (Quatre-mines-réunies), et au puits Saint-Louis des houillères de Saint-Étienne.

Digitized by Google

le massif de protection, mais jusqu'aux limites du quartier. C'est là que l'on branche sur chacune d'elles un montage, dont le flanc est pris pour front d'une taille chassante qui procède en retraite. De cette manière, la longueur des costresses va toujours en diminuant pendant l'exploitation, à l'inverse de ce qui a lieu pour les deux cas précédents [1].

On remarquera l'analogie de cette modification avec celle qui

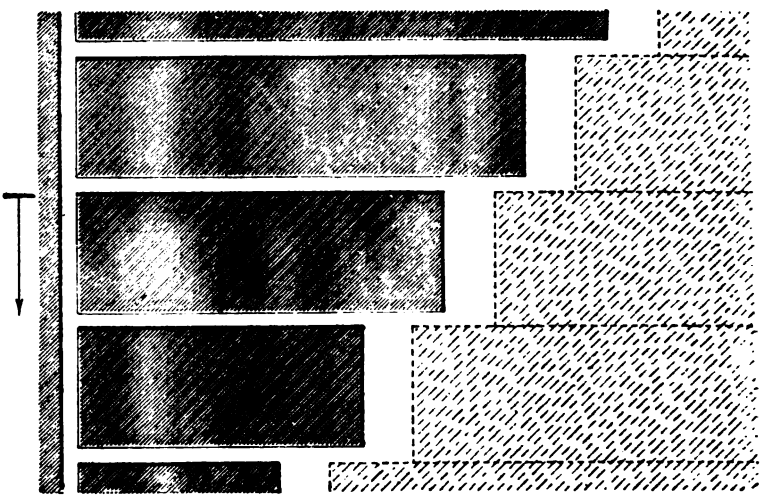


Fig. 359. — Méthode des grandes tailles chassantes, type rétrograde (coupe par le plan du gîte).

sépare le longwall working home du longwall working outwards (N° 464, fig. 322).

507 — *Maintenages.* — Dans les trois types qui constituent la variante précédente du mode chassant, le front de taille reste disposé suivant la ligne droite de plus grande pente. Ce dispositif deviendrait impraticable, lorsque le gîte se redresse d'une manière prononcée. Si, en effet, nous nous figurons comme très rapproché de la verticale le plan de la figure 357 (qui était tout à l'heure à peu près horizontal), au lieu de nous représenter encore

[1] Cette méthode est appliquée dans certains quartiers de la Grand'Combe

Digitized by Google

des hommes debout, dans des attitudes perpendiculaires à ce plan, nous serons forcé de les installer l'un au-dessus de l'autre, à l'aide de planchers. Outre les inconvénients d'une telle complication, et du peu de solidité d'un tel échafaudage, on exposerait ainsi les piqueurs à un danger sérieux, résultant de la chute de fragments à travers les planchers.

Le remède à cette difficulté se trouve dans l'emploi des maintenages, ou gradins couchés, que nous avons déjà rencontrés dans

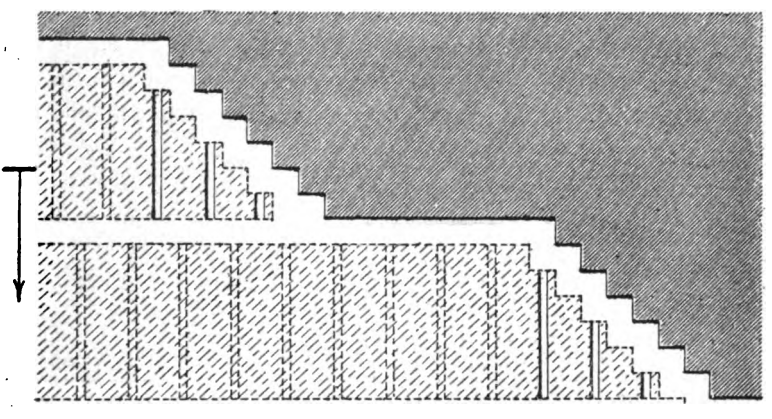


Fig. 360. — Maintenages avec gradins (coupe par le plan du dressant).

une circonstance analogue (N° 460, fig. 316). En disposant le front de taille en gradins renversés, on a pour résultat de loger chaque homme en avant du piqueur qui lui est supérieur, et de le mettre en sûreté sous le gradin attaqué par ce dernier. Si la chute de quelques fragments vient à se produire, elle aura lieu en arrière de l'ouvrier, et sans compromettre fatalement sa sécurité [1].

Ce principe présente à la vérité l'inconvénient de la production de nombreux nids de grisou, qu'il est difficile de faire laver complètement par le courant d'air. Nous n'avions pas insisté sur ce point

[1] On voit des maintenages à Anzin, à Liévin, à Fléchinelles (Pas-de-Calais), et généralement dans tous les dressants du Nord de la France et de la Belgique : au Gouffre, au Grand-Hornu, à Bois-d'Avray, à la Nouvelle-Marihaye, etc.; en Saxe : à Ebersdorf, Buthelsdorf, etc.

Digitized by Google

lors de la première rencontre des maintenages (N° 460), attendu que les méthodes de foudroyage sont, autant que possible, à écarter des gîtes grisouteux; mais le principe du remblayage leur est au contraire directement approprié.

L'emploi des maintenages peut varier dans l'application suivant trois types distincts.

508 — 1° *Remblai en gradins.* — Dans le plus ancien (fig. 360), le remblai se trouve disposé en gradins droits, en regard des

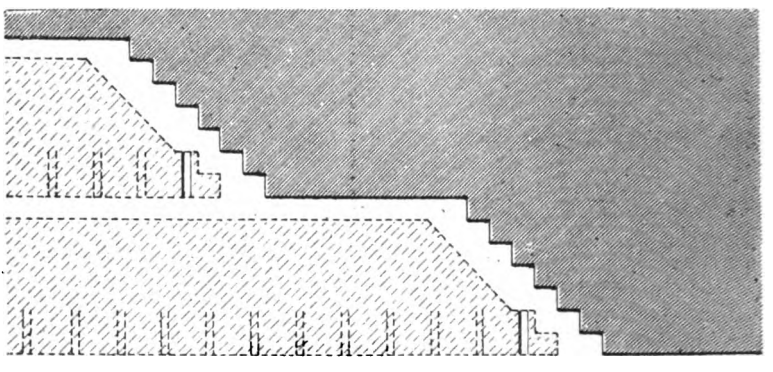


Fig. 361. — Maintenages avec talus (coupe par le plan du dressant).

gradins renversés que présente le combustible. Pour la descente du charbon, on ménage à travers ce remblai des cheminées qui vont en s'accroissant par la partie supérieure, au fur et à mesure de la montée du remblai, au moment où la marche en avant d'un gradin vient à les dépasser. Lorsque la cheminée atteint le sommet du massif de stérile d'un sous-étage, elle demeure sans objet. On la remblaye, et en même temps on en ouvre une nouvelle au pied du maintenage, en avant de la dernière.

509 — 2° *Remblai en talus.* — La multiplication de ces cheminées occasionne une complication, une dépense de bois et un manque de solidité, qui exercent sur la méthode une influence fâcheuse. On a imaginé pour y obvier (fig. 361) de disposer la plus grande partie du remblai en talus. Le charbon roule alors jusqu'au

Digitized by Google

pied de cette pente, où il trouve une cheminée très courte, qui sert à le charger dans les wagonnets de la voie-de-fond.

510 — 3° *Remblai avec plancher.* — Cette solution présente encore l'inconvénient de salir le combustible, qui entraîne avec lui des terres, en même temps que les menus peuvent se perdre dans le remblai (1). Sous l'empire de cette préoccupation, M. Godin a imaginé de recevoir le charbon sur un plancher où se tiennent les piqueurs (fig. 362). Les deux défauts précédents dispa-

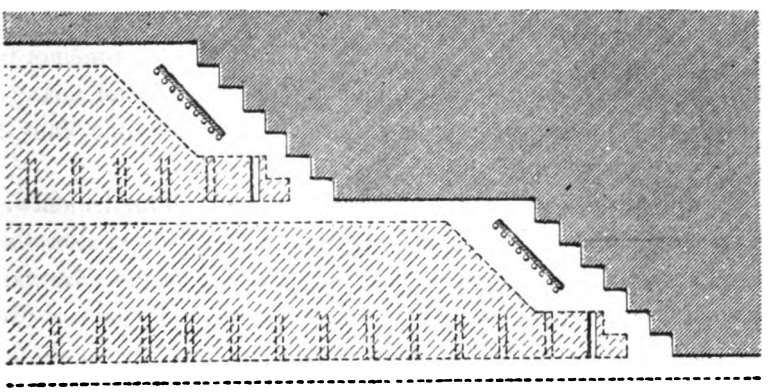


Fig. 362. — Maintenages avec plancher (coupe par le plan du dressant).

raissent par cela seul. En même temps, comme le remblayage se fait sous ce plancher, les deux services peuvent être effectués simultanément, tandis qu'ordinairement on ne *bascule* les remblais que pendant la nuit, en distinguant la *coupe à terre* de la *coupe à charbon*.

Ce système présente, à la vérité, l'inconvénient d'entraîner des frais spéciaux pour l'exécution de ce boisage et son transport incessant, parallèlement à lui-même, afin de suivre l'avancement. Néanmoins, l'auteur du système annonce une réduction d'un tiers environ sur les dépenses.

(1) Dans les chantiers de l'Espérance, à Seraing (*Annales des trav. publ. de Belgique*, XXXIII, 379).

Digitized by Google

§ 3

DISCUSSION DES VARIANTES DE LA METHODE DES GRANDES TAILLES

511 — *Caractères communs.* — Il est essentiel d'étudier avec un grand soin l'espacement à maintenir entre les voies de roulage. En effet le coupage de ces voies dans la masse du toit ou du mur produit un supplément de remblai qui doit se répartir exactement sur la région afférente à cette portion du réseau, en s'y ajoutant à celui que donne à pied d'œuvre le déhouillement lui-même. On doit se proposer comme but, autant que possible, de ne sortir ni rentrer de remblai, et de ne le déplacer à l'intérieur que dans la mesure strictement inévitable [1].

La dimension des tailles, très restreinte habituellement en France, où elle s'abaisse jusqu'à une dizaine de mètres, atteint en Angleterre 100 et 150 mètres. Cette ampleur présente l'avantage de rendre la surveillance plus facile, d'obliger les hommes à progresser du même train, de placer l'abatage dans des conditions plus faciles, d'offrir les seules conditions où le havage mécanique présente quelques chances de succès, de faciliter le boutage du charbon, en permettant d'établir parallèlement au front de taille un chemin de fer, que l'on *ripe* latéralement pour lui faire suivre l'avancement. Mais elle exige un toit solide.

Le degré de condensation du personnel le long des fronts dépend de certaines habitudes. En France, on met en général un piqueur par 4 ou 5 mètres, en lui attribuant cet espace pour qu'il se trouve plus à l'aise et produise d'autant plus. En Belgique, on est plutôt porté à réduire cette largeur à $2^m,50$ ou $3^m,00$ afin de réaliser un

[1] Quand la couche est épaisse, on peut conserver le dispositif de la méthode des grandes tailles chassantes, en descendant par le haut du plan incliné des remblais pris au dehors. Une semblable combinaison se voit au puits Saint-Louis et à la Chazotte (Saint-Étienne).

Le principe de la méthode des grandes tailles montantes se prête également à une semblable extension ; mais un traçage est alors nécessaire, comme à Montvicq et au puits du 12 Juillet de Commentry (N° 534).

Digitized by Google

avancement plus rapide, d'avoir par conséquent des chantiers moins durables, et de faciliter la surveillance, en diminuant en même temps les frais d'entretien. Si le rendement du piqueur s'en trouve affaibli, on économise d'autre part sur le personnel du boisage, de la direction, et des services accessoires.

Les méthodes de grandes tailles présentent sur celles des chambres l'avantage de faciliter l'abatage, en réalisant un meilleur rendement du piqueur. L'aérage est plus satisfaisant que celui des culs-de-sac, les portes d'aérage sont moins nombreuses. Le remblai suit l'avancement d'aussi près que l'on veut, et l'air se trouve par suite plus exactement forcé de lécher le front de taille. La surveillance est facilitée. En revanche, ce type nécessite une bonne tenue du toit, aux défauts duquel il est plus aisé de parer en restreignant les dimensions des chambres.

512 — *Avantages de la méthode montante sur la méthode chassante.* — Si le plan incliné, qui est unique pour la méthode chassante, vient à subir une avarie, tout le transport se trouve arrêté, les piqueurs ne peuvent plus reculer leur charbon, et les herscheurs restent sans ouvrage. Au contraire, avec la méthode montante, le plan incliné qui se dérange ne dessert qu'une seule taille, et le trouble apporté dans l'ensemble est moins profond. Il est vrai que les chances d'accident augmentent avec le nombre des plans automoteurs; toutefois il est préférable en principe de s'exposer à des irrégularités plus nombreuses, mais relativement peu importantes, plutôt que de risquer de paralyser d'un seul coup tout le service.

Si la couche est assez mince pour obliger à couper le toit ou le mur le long des voies, le banc ainsi entaillé au pied par les costresses de la méthode chassante, a tendance à glisser dans le vide; tandis qu'en le coupant suivant la ligne de plus grande pente avec la méthode montante, on ne détermine aucune tendance à un déplacement latéral.

La desserte du front de taille en inclinaison, pour l'ouvrage chassant, est moins commode que celle du front horizontal de la méthode montante, qui se prête à l'établissement d'un chemin de

Digitized by Google

fer à pente douce, obtenue à volonté au moyen d'une légère déviation sur la direction.

513 — *Avantages de la méthode chassante sur la méthode montante.* — Si l'inclinaison est marquée, les voies montantes doivent être armées du matériel des plans automoteurs. De là, une dépense importante et une complication du service, qui est sensible surtout avec les tailles montantes.

Aux abords d'un *crochon*, c'est-à-dire d'une inflexion de la couche, la section horizontale cesse d'être rectiligne, et se dévie en courbe ou en ligne brisée (fig. 363). Les normales ne sont donc plus des droites parallèles. Les tailles montantes comprises entre

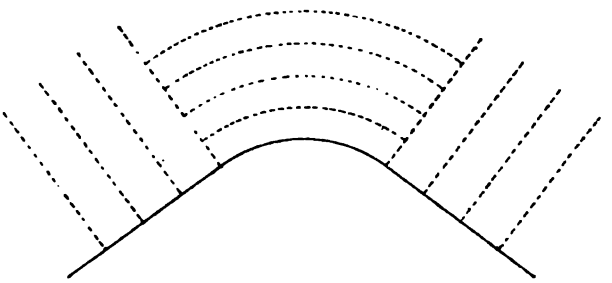


Fig. 363. — Passage d'un crochon (plan).

elles iraient en s'épanouissant, et il en résulterait, entre autres irrégularités, l'altération de l'équilibre qu'il est si important de conserver (N° 511) entre la hauteur des voies et leur espacement. En effet la première resterait constante, tandis que la largeur deviendrait variable. Pour ce motif, les exploitants qui emploient la méthode montante passent les crochons en tailles chassantes, au moyen de courbes parallèles conservant entre elles un intervalle uniforme.

Dans les gîtes grisouteux, le gaz qui sort du massif mis à nu glissera rapidement, en raison de sa légèreté spécifique, le long des fronts en inclinaison de la méthode chassante, tandis qu'il aura tendance à stationner sur les fronts horizontaux de l'ouvrage montant. Ce dernier système placera donc dans le milieu le plus vicié les feux, les coups de mines, les chances d'infraction des hommes aux règlements qui prohibent l'usage des allumettes ou le dévis-

Digitized by Google

sage des lampes. Aussi ne doit-on pas appliquer la méthode montante dans les gîtes grisouteux [1].

Lorsque la couche se redresse, le charbon a tendance à glisser sur le mur pour les chantiers montants en cas de manque d'adhérence, et à écraser les hommes contre le remblai. En outre, lors même que la veine serait bien adhérente au mur, les fragments abattus roulent dans les jambes des ouvriers, et peuvent déterminer des accidents. Enfin le charbon va s'accumuler le long du remblai; il s'y salit, il peut s'y perdre. Tous ces défauts disparaissent avec la méthode chassante, qui reste seule admissible dans les parties redressées en y prenant, lorsque cela devient nécessaire, la forme spéciale des maintenages.

§ 4

METHODE DES GRADINS

514 — *Gradins renversés.* — Si la couche est absolument raide, ou s'il s'agit d'un filon métallique, qui joint d'ordinaire aux difficultés inhérentes à sa situation verticale une certaine irrégularité de teneur, on conserve le principe des gradins, auquel nous venons d'être conduits en dernier lieu, mais en même temps on abandonne le caractère fondamental d'ampleur et d'unité qui est l'apanage des grandes tailles, et sur lequel j'ai insisté plus haut (N° 491). On revient, au contraire, à un traçage préalable sous forme de lopins, qui permette de mieux reconnaître le gîte et de multiplier d'une manière arbitraire les points d'attaque.

L'appareil ainsi modifié prend le nom de méthode des gradins. Il peut être appliqué suivant deux modes fondamentaux : le mode des *gradins renversés*, ou celui des *gradins droits*.

Le type des gradins renversés comporte lui-même quatre variantes distinctes, que nous allons passer en revue [2].

[1] Dans cet ordre d'idées, on a proposé l'emploi de grandes tailles *descendantes*, afin que le grisou vienne, mieux encore qu'avec la méthode chassante, se diluer dans le courant d'air en avant du front (*CRM*, 1896, 8).

[2] On rencontre la méthode des gradins renversés dans les divers charbonnages de

Digitized by Google

515 — 1° *Ouvrage simple.* — On attaque le lopin par l'un de ses deux angles inférieurs (fig. 364). On déboise le montage sur une hauteur de chantier, et en s'échafaudant on abat le massif en chassage de manière à surexhausser la galerie. Lorsque cette taille est suffisamment avancée, on déboise une nouvelle travée du montage, et un second poste commence une seconde taille chassante sur

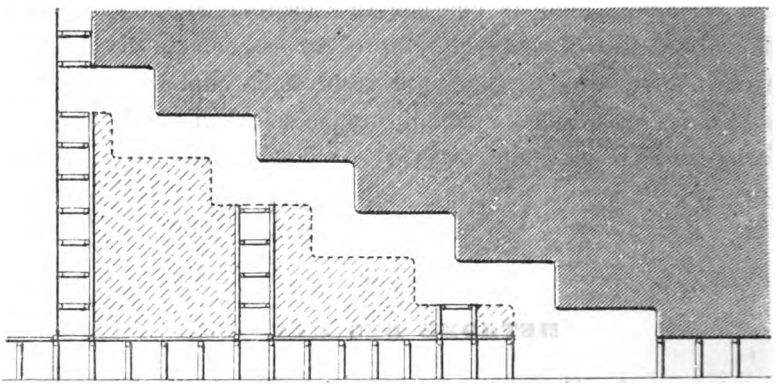


Fig. 364. — Méthode des gradins renversés, ouvrage simple (coupe par le plan du filon).

une hauteur égale à la première. On rétablit alors le boisage de la galerie, et l'on y entasse le stérile, qui forme un terre-plein pour la seconde équipe. Un troisième poste amorce bientôt une nouvelle travée sur le flanc du montage, et s'avance à la suite des précé-

Sablé (Sarthe), de Saint-Laurs (Deux-Sèvres) et de Chalonnes (Maine-et-Loire), de Montigné et de l'Huisserie (Mayenne), de la Basse-Loire, d'Yvoz (Belgique), de Miérès, de la Mosquitera (Asturies), de Doman (Banat).

C'est la méthode classique des filons. On la voit en France : à Vialas, à la Baume (Villefranche d'Aveyron), à Pierrefitte (Hautes-Pyrénées), dans les parties minces de Sainbel (Rhône) ; en Suède : dans les mines de fer de Norberg, de Flintgrafvon à Dalkarlsberg; en Angleterre : dans le Cornouaille; en Allemagne : à Königin Marien (Hartz), à Himmelsfurth (Saxe) ; en Autriche : à Schemnitz, au Bleyberg de Carinthie ; à Lopos Banya (Hongrie) ; en Espagne : à Linarès, à l'Horcajo, à Barruelo, à Castuera, dans les phosphates de Cacérès ; aux mines de Monteponi (Sardaigne) ; en Amérique : au Comstock, dans l'Austin, le Nevada, aux mines d'argent de Caracolès (Andes), dans les filons de tellurure d'or de Mountain Lion et Keystone (Colorado), à Summit Valley (Montana) ; à Monterufoli (*Génie civil*, IV, 162) ; au Minnesota (Bacon, The system of filling, *Transactions americ. min.*, juin 1892), et dans les mines de graphite du sud de la Bohême (*Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch*, XXXVII, 95).

Digitized by Google

dents. Le front de taille forme d'après cela, dans son ensemble, une série de gradins renversés.

En même temps, le remblai le suit en dessinant des gradins droits. Au fur et à mesure que ce massif progresse, la première équipe d'ouvriers y ménage, à des distances convenables, l'amorce d'une cheminée. Tous les autres postes, quand ils parviennent à cette cheminée, l'exhaussent d'une travée de boisage, pour disposer leur remblai contre ses parois. Ces couloirs s'élèvent ainsi peu à peu, et servent à bouter le minerai dans la voie du fond, où les trappes permettent d'en remplir les wagonnets (N° 477).

Chaque gradin se termine quand il perce dans le montage parallèle à celui qui a servi de point de départ. L'ouvrage entier s'achève par l'angle diamétralement opposé à celui de l'attaque [1].

516 — 2° *Ouvrage divergent.* — On aborde le lopin par un point intermédiaire du côté inférieur, son milieu par exemple (fig. 366). Les mineurs défaitent la galerie, et en s'échafaudant amorcent un montage. Puis, prenant ses deux flancs pour fronts de taille, deux équipes s'avancent en direction en se tournant réciproquement le dos. Lorsqu'elles sont suffisamment éloignées l'une de

[1] Ce type d'exploitation tend à se substituer, dans les ardoisières d'Angers, aux anciennes excavations souterraines établies dans des proportions gigantesques (N° 428).

La figure 365 montre le remblai qui remplit déjà une partie de la cavité pratiquée progressivement dans la masse, et sur lequel s'échafaudent les ouvriers. En A est amorcé un gradin renversé. En B un second se trouve en pleine exploitation. En C se trouve la voie qui conduit au puits d'extraction. Le remblai suit la voûte à 3 mètres environ de distance. Jusqu'ici les exploitants semblent réfractaires à l'emploi des bois de soutènement. Il conviendrait de réagir contre cette résistance.

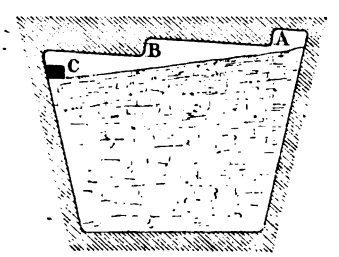


Fig. 365. — Ardoisières d'Angers. Méthode par gradins renversés.

On a inauguré récemment une méthode dite *par chambres multiples en remontant*, qui consiste dans l'association du principe des gradins renversés avec celui des cloisons (N° 422). Elle permet de maintenir un plus grand espace en relation avec le puits d'extraction, tout en restreignant l'étendue de chacun des porte-à-faux. On peut concevoir par exemple des chambres de 400 mètres carrés, séparées par des *bardeaux* de 4 à 5 mètres d'épaisseur.

Digitized by Google

l'autre, on exhausse le montage d'une nouvelle travée, où s'installent, en divergeant, deux nouveaux postes, et ainsi de suite. On boise cette cheminée centrale, de manière à la conserver au

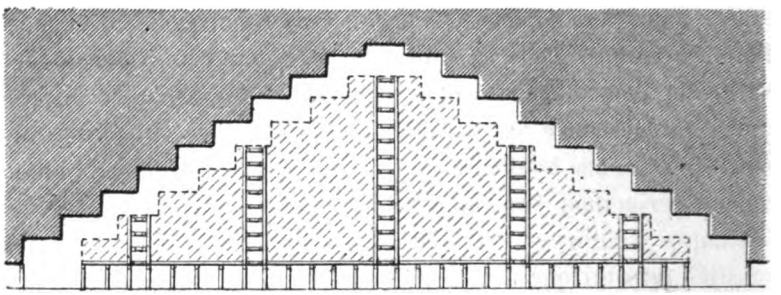


Fig. 366. — Méthode des gradins renversés, ouvrage divergent (coupe par le plan du filon).

milieu des remblais, et l'on en ménage d'autres de distance en distance, comme dans le cas précédent [1].

Chaque gradin se termine sur les montages latéraux, et l'ensemble de l'ouvrage s'achève par les deux angles supérieurs du massif.

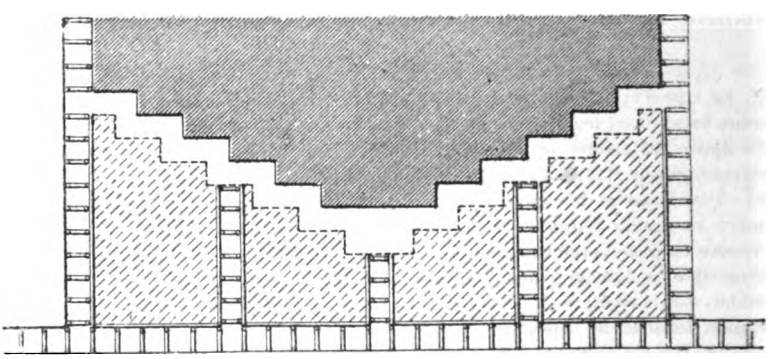


Fig. 367. — Méthode des gradins renversés, ouvrage convergent (coupe par le plan du filon).

517 — 3° *Ouvrage convergent.* — On attaque le lopin à la fois par ses deux angles inférieurs (fig. 367), et l'on développe ainsi sur

[1] Cette méthode est employée dans le filon de minerai de fer de Keymar (Aveyron), aux houillères de Faymoreau (Vendée) et d'Aller (Palencia, Espagne), ainsi qu'à la mine d'Immekepel, près de Cologne.

Digitized by Google

ses deux flancs, conformément à la description précédente (N° 515), deux ouvrages simples, qui marchent au-devant l'un de l'autre.

Les deux postes inférieurs finissent par se rencontrer au milieu de la base du lopin. A partir de ce moment, l'ensemble forme un atelier unique. On ménage suivant l'axe central une dernière cheminée, qui restera la plus courte de toutes. Puis l'ouvrage se développe, avec un profil constant dans son ensemble, que l'on voit par la pensée s'élever parallèlement à lui-même vers la partie supérieure, en raison de l'avancement chassant de chacun des systèmes de gradins, qui viennent consécutivement se terminer sur l'axe central (1). L'ouvrage s'achève par le milieu du côté supérieur.

518 — 4° *Ouvrage à double remblai.* — Il nous reste à envisager un dernier système, dont l'application doit rester limitée à des filons de matière précieuse et d'épontes solides (2).

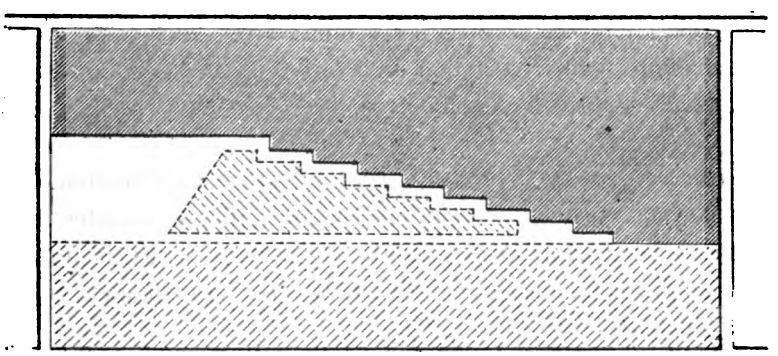


Fig. 368. — Méthode des gradins renversés, ouvrage à double remblai (coupe par le plan du filon).

Le lopin s'y trouve divisé en un certain nombre de bandes horizontales : trois par exemple, qui sont prises l'une après l'autre en ordre ascendant. La figure 368 montre la bande inférieure com-

(1) On rencontre cette méthode aux mines d'anthracite de la Bazouge (Mayenne), de 15 à 20 mètres de puissance. Elle y est appelée *exploitation en cassis* (Dorlhac, *Bull min.*, 1re, VII).

(2) Cette méthode est employée à Przibram

Digitized by Google

plètement terminée, celle du milieu en élaboration, et la zone supérieure encore inattaquée.

Chaque bande est dépecée en gradins renversés, avec toutes les circonstances qui constituent la description du premier type (N° 515), et en outre les détails suivants. On sort, dès le début, le plus riche en laissant dans le chantier le plus pauvre; mais sans attacher à ce triage la même importance qu'à l'ordinaire, car il n'est que provisoire. Ce remblai temporaire sert à échafauder l'ouvrier et à maintenir les épontes, pendant la durée très longue de l'abatage. Lorsque le dépilage de cette zone tire à sa fin, l'on commence (en calculant d'après le rapport des vitesses de telle sorte que les deux opérations se terminent ensemble) à enlever en masse du côté de l'attaque le remblai, que l'on sort en totalité en le faisant couler en talus et l'évacuant par le pied du montage. Cette bande étant entièrement vidée, on la remplit d'un seul coup avec du remblai stérile descendu du dehors par le haut du montage, et versé en talus sur toute la hauteur du sous-étage de manière à simplifier et activer cette opération. On arrive ainsi à tout retirer, en conservant en même temps, pour l'exécution de la taille, les facilités du remblai immédiat employé à pied d'œuvre.

519 — *Gradins droits.* — Le second mode d'application de la méthode des gradins procède encore par tailles chassantes, mais disposées en gradins droits. Le piqueur a, dans ce cas, le minerai sous les pieds, au lieu de l'avoir sur la tête. Ce système comporte deux variantes distinctes ([1]).

1° *Ouvrage simple.* — On attaque le lopin par un de ses deux angles supérieurs. La figure 369, si on la réduit pour le moment à l'une de ses moitiés, représente ce genre de chantier. On déboise successivement diverses travées de la descenderie, et l'on conduit des tailles chassantes, en avance les unes sur les autres. En arrière du front de taille, on dresse, à l'aide de rondins arc-boutés dans

([1]) La méthode des gradins droits se voit dans les mines d'argent de Saint-Andreasberg (Hartz), aux mines d'or d'Offenbanya (Hongrie), dans certaines parties des filons de Schemnitz, de Przibram; de Kongsberg (Suède); de Coto-la-Luz (Linarès).

Digitized by Google

des potelles, des planchers sur lesquels on entasse le stérile, en ménageant des passages pour atteindre la descenderie. Dans cette dernière fonctionnent les câbles d'un treuil de manœuvre, pour la sortie des minerais.

Chaque gradin se termine quand il perce dans la descenderie parallèle à la première. L'ouvrage prend fin par l'angle diamétralement opposé à celui qui a servi de point de départ.

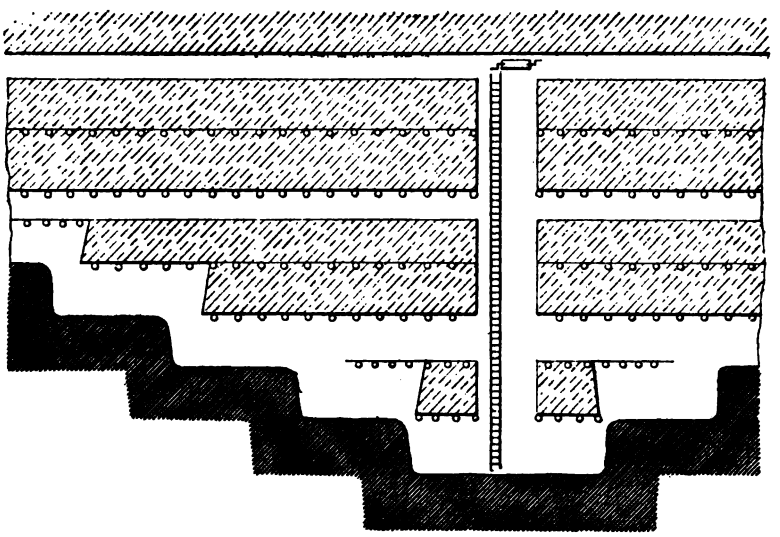


Fig. 369. — Méthode des gradins droits (coupe par le plan du filon).

520 — 2° *Ouvrage double.* — La seconde variante est représentée par la figure 369 prise dans son ensemble. On attaque le lopin en un point intermédiaire de son côté supérieur : le milieu par exemple. On y amorce une descenderie, et de ses deux flancs on fait partir deux systèmes de gradins droits, semblables au précédent, et se développant respectivement sur les deux côtés. Un treuil de manœuvre sert à élever jusqu'à la galerie supérieure les minerais et en outre, s'il y a lieu, les eaux qui, à l'inverse du cas précédent pour lequel elles trouvaient un écoulement naturel, tendraient à s'accumuler dans le fond de cette exploitation *en vallée.*

Digitized by Google

§ 5

DISCUSSION DES VARIANTES DE LA MÉTHODE DES GRADINS

521 — *Caractères communs.* — Les deux méthodes des gradins droits et des gradins renversés partagent avec celles des grandes tailles l'avantage de ne faire porter le transport, en principe, que sur la matière utile; le remblai étant aussi peu remanié que possible.

L'abatage est facilité par la disposition en gradins assez courts. Le dépècement est rapide, car ces dispositifs permettent d'installer un grand nombre d'ouvriers, dont la condensation rend en outre la surveillance facile.

Il est nécessaire d'opérer le triage au marteau, afin de ne pas abandonner de minerai dans l'intérieur de morceaux volumineux, dont l'aspect extérieur pourrait faire illusion. Il vaut beaucoup mieux dans le doute s'exposer à sortir du stérile, que de risquer d'abandonner une matière utile qui a déjà supporté tous les frais de l'exploitation, et que l'on n'a plus qu'à recueillir.

522 — *Avantages des gradins droits sur les gradins renversés.* — Les hommes sont plus en sécurité pour l'abatage d'un minerai sans solidité, quand il se trouve sous leurs pieds, que lorsqu'il forme le plafond des chantiers. L'emploi des gradins renversés devient décidément impossible dans les *filons pourris*.

L'abatage fait moins de menu avec des gradins droits que lorsque la chute vient encore fragmenter le minerai, en brisant les parties friables. En outre ces menus pulvérulents ne risquent pas d'être perdus, puisqu'ils reposent sur le massif, tandis qu'avec l'autre méthode, ils sont exposés à filtrer dans les remblais. Ce déchet est d'autant plus regrettable que, comme nous venons de le faire remarquer, tous les frais sont déjà effectués en vue de recueillir ces matières, et de plus parce que certains minerais précieux, tels que l'argent rouge, sont particulièrement friables. Cette considé-

Digitized by Google

ration est même assez importante pour faire exclure absolument la méthode des gradins renversés avec de telles substances. On a soin, quand on l'applique dans des filons de plomb argentifère, d'établir sur le remblai un plancher mobile, ou une sole en terre grasse. Ces soles sont ensuite enlevées, et considérées elles-mêmes comme du minerai à laver.

La méthode des gradins droits obligeant à tout reprendre à la main, pour charger le minerai dans les véhicules et le stérile sur les planchers, vient remédier, le cas échéant, à la négligence de l'ouvrier en lui facilitant l'inspection des fragments; tandis qu'une fois tombés sur le remblai, avec le système des gradins renversés, ils risquent d'y être abandonnés sans examen. Pour éviter cet inconvénient, on peut du moins exiger, dans cette dernière méthode, que le remblai soit empilé régulièrement, sous forme de parements en pierres sèches. On sera sûr, de cette manière, que tous les morceaux ont été remaniés.

523 — *Avantages des gradins renversés sur les gradins droits.* — Mais des motifs bien plus sérieux militent au contraire en faveur de l'emploi des gradins renversés.

D'abord l'ouvrier ne gâte pas le minerai en piétinant dessus, comme dans l'appareil à gradins droits. Cette considération est surtout importante pour la houille.

L'abatage est facilité par la pesanteur, qui vient joindre son action à celle des coins ou des pétards placés en couronne.

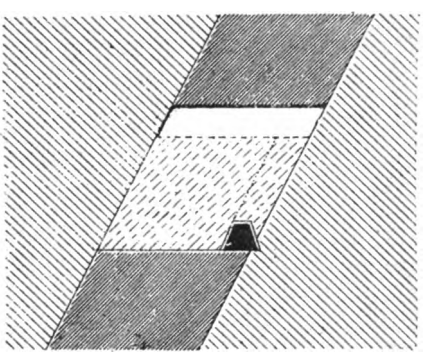


Fig. 370. — Méthode des gradins renversés, gîtes puissants (coupe verticale en travers).

On doit considérer comme un défaut capital de l'ouvrage à gradins droits l'énorme dépense de boisage à laquelle il donne lieu, et le peu de solidité de l'édifice de remblai établi dans des conditions aussi précaires.

Digitized by Google

La méthode des gradins droits reste nécessairement limitée aux gîtes minces, car il ne serait pas possible de se procurer la quantité nécessaire de bois de dimensions suffisantes pour un gîte puissant, ni de les faire circuler dans les coudes des galeries, et à travers les chantiers où ils doivent être manœuvrés. Au contraire, la méthode des gradins renversés s'étend très facilement aux filons puissants. Nous remarquerons même qu'à ce titre elle forme une transition naturelle entre ce chapitre et le suivant. Il suffit, pour lui donner cette extension (fig. 370), après avoir établi la voie de fond au mur, à la base de l'étage, de remblayer à plein sur la tête du massif inférieur, en ménageant sur le mur des cheminées pour relier les divers gradins à cette mère-galerie. De cette manière, la puissance reste arbitraire, et l'on n'emploie le bois que dans une proportion très restreinte. On devra bien entendu, dans l'enlèvement du massif inférieur, passer sous ce remblai avec les précautions usitées en pareil cas (N° 481).

Digitized by Google

CHAPITRE XXI

MÉTHODES DE REMBLAYAGE — GITES PUISSANTS

—

§ 1

METHODE INCLINEE

524 — *Avantages et inconvénients.* — Il est nécessaire, pour acquérir une idée exacte de la méthode inclinée, de commencer par se reporter aux développements dont elle a été déjà l'objet, à l'occasion du foudroyage (N° 466) (1). Nous n'avons en ce moment qu'à leur ajouter les détails qui sont spéciaux au remblayage.

Les tassements s'accumulant de tranche en tranche, détermineront une fatigue extrême pour la région voisine du toit. On ne saurait donc dépasser, en ce qui concerne le nombre des tranches, une limite assez restreinte. L'emploi de cette méthode reste ainsi spécial aux gîtes modérément puissants, en même temps que modérément inclinés. Sous ce rapport, il convenait de la placer en première ligne, lorsque nous passons des gîtes minces aux grandes puissances. On excède rarement, pour la méthode inclinée, une traversée de 15 mètres et un plongement de 45 à 50° (2). Le nombre des tranches ne doit pas croître au delà de 3 ou 4; 5 ou 6 tout au plus. On l'a vu porter, cependant, dans des conditions particulièrement favorables, jusqu'à 20 et 21.

(1) La méthode inclinée avec remblayage est parfois appelée *méthode de Rive-de-Gier*, en même temps que le même dispositif appliqué au foudroyage prend le nom de *méthode de Blanzy*.

(2) De Villaine, *Bull. min.*, congrès de Saint-Étienne, 179. — Delafond, *Annales*, 8e, XIX, 272.

Digitized by Google

Cette méthode facilite la mise en place des remblais. Il suffit en effet, lorsque le pendage est suffisant, de les verser à partir du haut du sous-étage, pour qu'ils glissent sur le mur de la tranche et se mettent d'eux-mêmes en place, ce qui ne saurait avoir lieu avec des tranches horizontales. Ce dispositif apporte également de grandes facilités pour la double circulation du remblai et du charbon, l'un arrivant par la partie supérieure, tandis que l'autre sort par le bas du sous-étage. Il en est de même pour celle de l'air, qui se meut en sens contraire du roulage, entrant par la partie inférieure et sortant par le haut, de manière à mettre en pratique les préceptes de la ventilation ascensionnelle.

En revanche, le remblai se tient mal sur les fortes pentes. Le piqueur lui-même s'y trouve placé dans une situation incommode. Enfin le charbon, en tombant du front de taille, roule sur le sol incliné du chantier, en se détériorant et en exposant les hommes à des accidents.

525 — *Marche en direction.* — La division par des plans parallèles à la stratification fournissant des tranches aussi étendues en principe que le gîte lui-même, on est obligé d'y restreindre beaucoup la fraction du champ d'exploitation que l'on veut déhouiller avant de passer d'une tranche à l'autre, sans quoi la fatigue deviendrait excessive par une trop longue attente. Le charbon s'altérerait, et l'incendie risquerait de s'y déclarer.

Cette considération peut même parfois obliger à changer de méthode. C'est ainsi qu'à Lucy, la couche divisée en cinq tranches inclinées prenait toujours feu, dans quelque ordre que l'on procédât à leur déhouillement. M. Dorion finit par reconnaître que l'inflammation se produisait dans les schistes du toit. Ceux-ci, en effet, finissaient toujours par éprouver sensiblement la même fatigue, indépendamment de l'ordre d'exploitation des tranches. On mit fin à cet état de choses, en substituant à la méthode inclinée l'emploi des plans horizontaux. La bande ainsi obtenue se trouvant limitée en largeur à la traversée du gîte, son déhouillement total progressait assez vite en direction pour que l'on pût quitter d'une manière définitive chaque région avant son embrasement.

Digitized by Google

En insistant sur ce point de vue, on trouverait dans ce qui précède un acheminement vers la méthode verticale, qui réduit la projection horizontale dans le sens de la direction, en même temps que suivant le sens transversal, à ce qui est nécessaire pour que la montée de tranche en tranche dans cette pile jusqu'au sommet de l'étage, précède l'instant de sa mise en feu. Les trois méthodes présentent ainsi, sous ce rapport spécial, une gradation rationnelle.

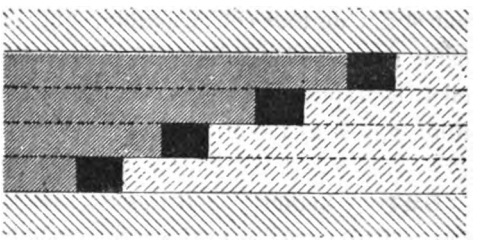


Fig. 371. — Méthode inclinée (coupe verticale en direction).

A la Grand'Combe, dans la mine du Ravin, qui est exploitée par tranches inclinées, la marche en direction est extrêmement rapprochée de l'une à l'autre de ces tranches (fig. 371). Les divers ateliers y sont systématiquement séparés par une largeur de chantier.

526 — *Enlèvement d'une tranche.* — Quant au mode à employer pour le déhouillement d'une tranche, il semble au premier abord qu'il puisse être emprunté à l'une quelconque des nombreuses méthodes que nous avons étudiées dans le chapitre précédent pour les couches minces. Cependant, en y regardant de plus près, on comprend que le choix sera forcément plus circonscrit.

Par exemple, on n'aura pas à faire intervenir ici les méthodes de gradins; car elles conviennent essentiellement à un gîte très redressé, tandis qu'il doit n'être que modérément incliné pour se prêter à la subdivision en tranches parallèles à la stratification.

On n'aura que rarement recours aux grandes tailles montantes. Elles supposent, en effet, un gisement qui donne du remblai à pied d'œuvre, tandis que dans le cas actuel on doit nécessairement l'amener du dehors, puisqu'il s'agit d'un gîte puissant. Il est donc alors nécessaire de pratiquer préalablement en pleine masse des plans inclinés, pour le descendre du haut de l'étage, car l'on ne

Digitized by Google

saurait songer à l'introduire par la base de l'ouvrage montant et à l'élever dans les tailles contre la pesanteur.

On n'aura pas davantage à employer les traçages en demi-pente, ni les maintenages, artifices destinés à corriger les effets d'un pendage excessif, qui a été exclu de l'hypothèse actuelle. Il ne restera, par suite, de tout cet ensemble, que la méthode des chambres et celle des grandes tailles, le plus souvent chassantes. Ce sont, en effet, les types auxquels se rattachent ordinairement les exploitations par tranches inclinées [1].

527 — *Méthode de Beaubrun.* — Les étages sont presque toujours limités par des plans horizontaux. On doit citer cependant comme exception (N° 397, note), un mode de division autrefois employé à Beaubrun [2] à l'aide de plans verticaux menés suivant la direction. Dans cette méthode, due à M. Locard, on commence par installer, sur le mur de la couche, un plan incliné automoteur. Les costresses que l'on y rattache sont espacées de 50 mètres suivant l'inclinaison, et poussées jusqu'à la limite du quartier. Pour dépecer un étage, on branche sur la galerie d'allongement des enlevures montantes, que l'on prend consécutivement en rétrogradant depuis l'extrémité. Elles sont remblayées d'un seul coup à partir du haut (N° 495).

Lorsque l'on a, dans la tranche du mur, reculé de 24 mètres en deçà de la limite du quartier, ce qui suppose une dizaine d'enlevures, on continue, d'une part, à appliquer progressivement le même système dans cette tranche, mais en même temps on se reporte à l'extrémité du champ, pour défaiter la galerie et l'exhausser verticalement jusqu'en seconde tranche. On la remblaye alors dans la première suivant une pente douce, qui atteint sur ces 24 mètres

(1) La Béraudière (troisième brûlante), Carmaux, Blanzy, La Chapelle-sous-Dun, Commentry, Cransac (petite couche), Doyet (Allier), Montrambert (puits Devillaine), Treuil n° 2 (Saint-Étienne), Épinac (fontaine Bonnard), Firminy (Loire, puits Monterrad), Beaubrun (puits Chatelus), la Grand'Combe (le Ravin), La Péronnière (Loire, Sainte-Camille), Saint-Geniès (Hérault, Graissessac-ouest), Villars (Loire); Styring (Couche Henri, Moselle); Doman, Petrovincq et West Revier (Hongrie). La houillère sous-marine d'Arnao (côte cantabrique), présente une puissance de 8 mètres, prise en trois tranches inclinées.

(2) Beaubrun, couche Montmartre (Baretta, *Bull. min.*, 2e, IV, 259).

Digitized by Google

la valeur d'un douzième. A partir de ce moment, on se met à déhouiller, en rétrogradant dans cette seconde tranche, à l'aide d'enlevures contiguës prises sur le remblai des précédentes. On continue, en passant d'un chantier au suivant, à recouper au faîte la galerie costresse, en la remblayant à la sole, de manière que cette rampe au douzième se transporte parallèlement à elle-même en conservant une projection de 24 mètres qui recule progressivement vers le plan incliné.

Lorsque ce second remblayage atteint à son tour une longueur de 24 mètres, on recommence à son extrémité ce que l'on a déjà pratiqué pour passer de première en seconde tranche. C'est-à-dire que, tout en continuant à pousser vers le plan incliné les deux premières exploitations, on défaîte la galerie à l'extrémité du quartier, et on l'exhausse en troisième tranche, en la remblayant à la sole avec raccordement par une pente au douzième, qui succède à la précédente sur un total de 48 mètres en projection; puis on pratique une troisième série d'enlevures, analogue aux deux premières et cheminant de conserve avec elles, de telle sorte que la rampe recule vers le plan sur ses 48 mètres de projection horizontale, pour que l'on puisse desservir à la fois les trois avancements.

On continue de cette manière à s'élever de tranche en tranche, et l'on en a pris jusqu'à 12 dans les grandes puissances. Nous voyons, d'après cette explication, que la partie remblayée se trouve finalement séparée par un plan vertical, du massif situé à l'aval-pendage, ainsi que nous l'avons annoncé tout à l'heure pour le mode de subdivision en étages [1].

§ 2

MÉTHODE HORIZONTALE — MODE EN TRAVERS

528 — *Méthode simple.* — La description de la méthode hori-

[1] Le remblai était fourni à Montmartre par des chambres d'éboulement pratiquées dans le toit (N° 453), à l'extrémité des voies d'allongement. Il rétrogradait le long de ces voies toujours en descendant, pour être versé dans le haut des tailles de l'étage subordonné à chacune d'elles.

Digitized by Google

zontale exige encore que l'on se reporte tout d'abord à ce qui en a été dit ci-dessus (N° 470) à l'occasion du foudroyage.

Nous ajouterons dans le cas actuel aux nombreux avantages énumérés alors, celui d'offrir, par une sole horizontale, une excellente assiette pour le remblai, ainsi que pour la tombée de minerai; à l'inverse de ce que nous présentait la méthode inclinée (N° 524).

On est quelquefois amené, dans les couches inclinées, à prendre une épaisseur un peu plus grande du côté qui tasse en plein remblai que dans la région plus voisine du mur, afin de conserver l'horizontalité.

La méthode horizontale comporte pour son exécution deux modes fondamentaux : transversal ou longitudinal, qui portent dans l'usage les noms de *méthode en travers* et *méthode en long*.

La méthode en travers [1] peut elle-même être appliquée suivant trois variantes distinctes.

529 — Dans la plus simple (fig. 372), l'étage est déterminé par deux travers bancs, l'un inférieur A, l'autre supérieur B, qui le relient au puits. On y branche au mur deux mères-galeries *a* et *b*. Cette dernière a déjà servi de voie-de-fond pour l'étage supérieur, actuellement remblayé, au moins dans la partie qui surmonte le siège actuel de l'exploitation. De même la costresse *a*, qui forme la voie-de-fond de l'étage actuel destinée au sortage du minerai, deviendra plus tard le chemin de remblais de l'étage inférieur.

Nous nous trouvons actuellement dans la tranche M. Pour la desservir, on a pratiqué, au mur, une galerie d'allongement *m*, dans des conditions plus sommaires que pour les voies-maîtresses

[1] La méthode en travers a été inaugurée au siècle dernier pour les filons puissants de Schemnitz, dont elle a sauvé alors l'exploitation. Elle a été, en 1840, introduite au Creusot (Delafond, *Annales*, 8e, XIX, 294).

On la rencontre dans les charbonnages de la Béraudière (Crêt-de-Mars), Firminy, Saint-Laurs, Campagnac (Aveyron), Commentry, Cransac (Fraysse), le Creusot (Saône-et-Loire), Decazeville (Bourran, Aveyron), La Péronnière, Montigné (Mayenne), Roche-belle, Roche-la-Molière (la Varenne), Sainte-Barbe (Rive-de-Gier), Saint-Félix (Loire); Belmez (Espagne), Anina (Steierdorf, Hongrie); Blanzy (*Génie civil*, XVII, 312); Saint-Éloy (*CRM*, 1890, 215), etc.

On la voit également dans les mines de fer de La Voulte (Ardèche), de Mokta-el-Hadid (Algérie), de Dalkarsberg (Suède), et dans les parties puissantes des filons de Pontpéan, Monteponi, Zellerfeld, Carthagène, Idria, Sainbel (*Génie civil*, XV, 606), etc.

Digitized by Google

a et *b*, dont chacune doit traverser la durée de l'exploitation de deux étages, tandis que *m* n'aura que celle d'une tranche.

De distance en distance des cheminées, telles que α, ont été réservées dans les remblais, pour descendre les charbons à la voie-de-fond *a*. Elles vont toujours en s'allongeant par le haut, au fur et à mesure que l'on monte de tranche en tranche. Dans leurs intervalles d'autres cheminées, telles que β, ont été percées dès l'abord sur toute la relevée de l'étage, pour descendre les remblais de la

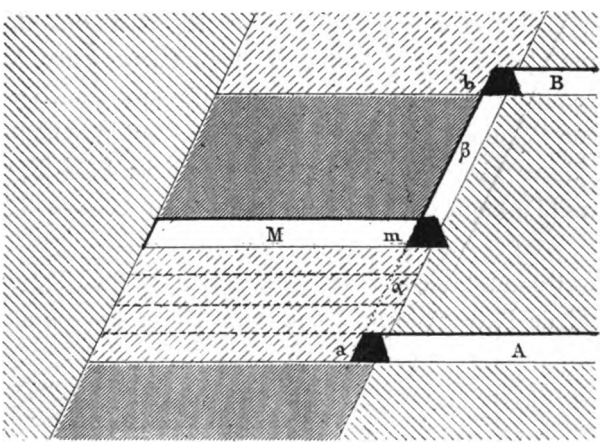


Fig. 372. — Méthode horizontale en travers (coupe verticale en travers).

voie *b* à la tranche en exploitation. Celles-ci vont continuellement en se raccourcissant par le pied.

Ajoutons que ces cheminées sont souvent remplacées par des plans inclinés automoteurs, sur lesquels circulent des wagonnets renfermant les matières extraites.

Quand on arrive au sommet de l'étage, la dernière tranche est prise sous les remblais avec les précautions nécessaires (N° 481).

530 — La tranche est dépecée par la méthode des chambres. On branche sur la galerie d'allongement *m*, des chantiers en cul-de-sac pratiqués du mur au toit, d'après l'un quelconque des systèmes décrits ci-dessus (N° 493).

Tantôt, comme dans les charbonnages de la Mayenne, on prend

Digitized by Google

des tailles contiguës suivant leur succession naturelle; tantôt on emploie un ordre plus complexe.

On les groupe alors en séries, formées chacune de quatre *viailles*, et dont l'ensemble porte le nom de *massif*. On attaque d'ailleurs simultanément un nombre plus ou moins grand de ces derniers, d'après le degré d'activité que l'on veut imprimer à la production. Si nous désignons par $n+1$ le rang du massif considéré, on en exploitera les quatre viailles dans l'ordre : $4n+1, 4n+3, 4n+2, 4n+4$. La première et la troisième sont, d'après cela, dépecées en pleine masse, la seconde est prise entre les deux piles de remblai qui ont remplacé les précédentes, et la quatrième entre le remblai de la seconde et celui du $(n+2)^e$ massif. On a soin, en effet, de commencer l'exploitation de ce dernier avant la conclusion du $(n+1)^e$, de manière que sa première tranche : $4n+5$, soit remblayée avant l'attaque de la dernière, $4n+4$, de ce $(n+1)^e$ massif.

531 — Quand le pendage est peu prononcé (fig. 373), le profil transversal de la tranche forme un parallélogramme à angles très

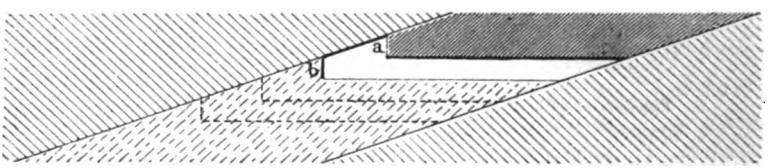


Fig. 373. — Méthode horizontale en travers. Relevage (coupe verticale en travers).

aigus. Il serait difficile aux piqueurs de se glisser dans le *sifflet*, pour en retirer le charbon qu'il contient. On facilite cette opération, en pratiquant un *relevage* à l'extrémité [1]. On déhouille alors dans chaque tranche le parallélogramme, plus la troncature *a* de la tranche supérieure, et moins sa propre troncature *b*, qui a été prise avec la tranche inférieure.

Quant à l'autre extrémité, elle est plus facile à atteindre, car elle a tendance à glisser dans le vide du chantier. D'ailleurs, s'il en reste une partie, elle sera facile à reprendre avec la tranche supé-

[1] Ce détail est usité à Commentry.

Digitized by Google

rieure qui la surplombe, tandis que *b* reste au contraire recouvert par le toit.

532 — *Méthode complexe.* — La méthode simple qui précède admet certaines complications qu'il faut encore indiquer.

On peut d'abord ouvrir la galerie d'allongement en plein minerai, en vue d'éviter les ondulations du mur.

On peut également[1], en se plaçant à un point de vue absolument opposé, lorsque ces ondulations ne sont pas gênantes, en accepter l'assujettissement, en cherchant à égaliser exactement la longueur des deux traverses situées de part et d'autre, afin que les deux

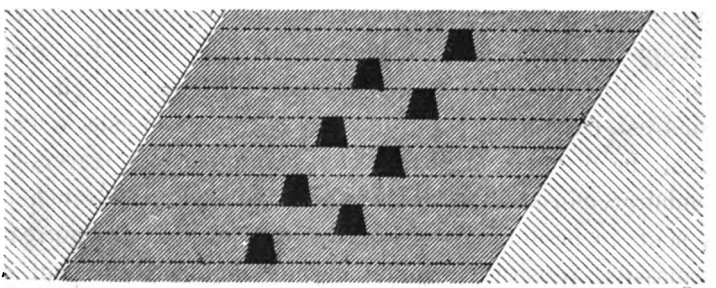


Fig. 374. — Méthode horizontale en travers (coupe verticale en travers).

moitiés de l'atelier progressent du même train. Cette galerie forme alors, pour la section horizontale du gisement, la *courbe diamétrale conjuguée* d'un système de cordes rigoureusement parallèles à une direction fixe, que l'on amorce à la boussole en ses divers points.

Lorsque les galeries-maîtresses sont ainsi placées en massif, on peut se dispenser de la sujétion de les établir directement l'une au-dessus de l'autre. Leurs axes sont alternativement déjetés, d'une largeur de galerie, à droite et à gauche du milieu (fig. 374).

Si la couche présente une grande traversée, au lieu de se borner à une mère-galerie au mur, on en ajoute une seconde au toit. Pour une puissance encore plus notable, on leur en adjoindra une troisième en pleine masse, et même un plus grand nombre. J'en ai rencontré jusqu'à huit. Ce traçage complexe présente l'avantage

[1] Comme à la Béraudière.

Digitized by Google

d'assurer l'indépendance des divers quartiers, qui risquerait de se trouver, avec une galerie unique, compromise par l'éboulement ou l'incendie.

533 — Cette difficulté spéciale du feu a donné naissance aux *travaux au rocher*, qui tendent à se développer (1) et qui procurent, sous ce rapport, une sécurité complète; car si l'on a le soin de les murailler, au lieu de les boiser, on est assuré qu'ils ne donneront aucune prise à l'inflammation. On place ordinairement de semblables galeries dans le mur, moins fatigué par les mouvements que le toit, à moins que ce dernier (2) n'offre plus de facilités qu'une roche du mur exceptionnellement dure, ou au contraire sans aucun maintien. Le traçage est alors conduit de la manière suivante.

Lorsque le travers-bancs fondamental, qui part de l'accrochage dans le puits, parvient à une certaine distance du gîte (10 à 30 mètres), c'est de ce point que l'on fait partir la galerie d'allongement. De distance en distance, on y branche des travers-bancs secondaires, afin de desservir les divers panneaux de la tranche, que l'on peut au besoin isoler complètement les uns des autres par des massifs, réservés jusqu'au dernier moment. On peut aussi établir dans le gîte une maîtresse-voie, pour procurer plus de facilités, sauf à la boucher pour cerner un incendie, tout en restant maître de desservir les autres parties du champ d'exploitation à l'aide des travers-bancs secondaires.

A l'avantage que présentent les travaux au rocher au point de vue de l'incendie, il faut ajouter celui d'éviter la production des poussières charbonneuses par le piétinement des hommes et des chevaux dans des galeries sèches ouvertes en plein charbon. Cette considération a son importance, au point de vue des dangers d'inflammation et d'explosion auxquels exposent ces poussières.

Les galeries maîtresses au rocher sont encore employées lorsque le gîte est tellement imprégné d'eau, que l'on peut à chaque instant

(1) Le Creusot, Brassac, Belmez, Schemnitz. Au Montceau, ils atteignent un développement total de près de 12 kilomètres, quoique l'expérience de ces derniers temps ait amené un certain ralentissement à cet égard. A l'Huisserie et à Montigné, on coupe aussi la galerie dans le mur, mais au contact même du gîte.

(2) Comme au Creusot.

Digitized by Google

redouter des dangers de ce côté[1]. Dans ce cas, si l'une au moins des épontes est meilleure, on y développe la base d'opérations, avec un système de travers-bancs pour y relier les divers panneaux. On prépare à l'avance des serrements, ou barrages, contre une invasion imprévue des eaux.

Nous pouvons ajouter enfin que les ouvrages au rocher permettent de supprimer les massifs de protection nécessaires à la conservation des galeries pratiquées dans le charbon, et qui n'atteignent l'époque de leur dépilage qu'après une extrême fatigue, donnant beaucoup de menu, et exposant à quelques dangers dans le déhouillement.

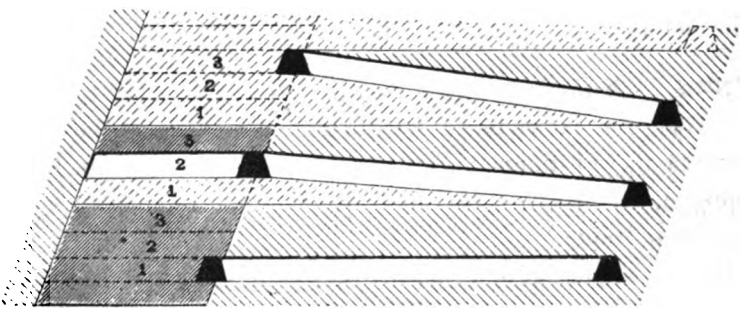


Fig. 375. — Méthode horizontale en travers, ouvrages au rocher (coupe verticale en travers).

A la vérité, ces ouvrages sont très coûteux, bien qu'une partie de leur dépense d'exécution vienne en défalcation de celle des carrières de remblai[2]. En vue de diminuer autant que possible le total de ces percements, on les fait servir ordinairement pour trois tranches (fig. 375). Lorsque la tranche d'à-rase est déhouillée, on pratique une mère-galerie au charbon en seconde tranche, et l'on relève en rampe les travers-bancs secondaires, en les recoupant au faîte, et remblayant à la sole avec les débris. On refait cette opération une seconde fois pour s'élever en troisième tranche; et afin d'obtenir que la pente ne soit pas trop raide, on a soin de placer

(1) C'est le cas de la mine de plomb et zinc argentifères de Pontpéan (Ille-et-Vilaine).

(2) Dans la mine de la Chana (Firminy), on a développé dans la *couche crue*, qui eût été inexploitable par elle-même, une série de travaux dont on n'eût rien tiré en les pratiquant dans le rocher, tandis qu'ils ont apporté par leurs produits une certaine atténuation dans la dépense totale.

Digitized by Google

la voie costresse au rocher à une distance suffisante du gîte. Mais on ne saurait continuer ainsi indéfiniment, sous peine de perdre, par le travail à exécuter sur de trop longs travers-bancs, ce qu'on éviterait comme percement d'une nouvelle voie-maîtresse au rocher. Aussi limite-t-on à trois le nombre des tranches desservies par une même galerie-maîtresse; puis on en établit une nouvelle à un niveau inférieur, en vue de prendre de même le groupe des trois suivantes. On est ainsi amené à passer sous le remblai pour une tranche sur trois. Mais en revanche la méthode horizontale ainsi appliquée présente, avec les couches inflammables, l'avantage de réduire considérablement la fatigue du charbon, et par suite les chances d'incendie [1].

534 — *Méthode des amas.* — Nous avons déjà fait remarquer (N° 470) que la méthode horizontale permet seule d'exploiter, d'une manière rationnelle, un amas de forme irrégulière. Elle s'y applique, en ce qui concerne le principe du remblayage, de la manière suivante.

Le gîte est partagé en étages par des plans horizontaux. A la base de chacun d'eux, un travers-bancs venant du puits débouche dans la masse. On commence par pratiquer à ce niveau une galerie de ceinture (fig. 376) qui en suit exactement les contours, sans quitter le contact du minerai et de la roche. Cet ouvrage sert à déterminer avec précision la forme du massif, au moyen d'un certain nombre de courbes de niveau qui correspondent aux divers étages.

Une galerie aussi tourmentée ne saurait convenablement servir de base à un système de viailles, ni de voie-de-fond pour le roulage. On perce donc en pleine masse une mère-galerie rectiligne, disposée de manière à partager le plus également possible la section que l'on vient de se procurer.

Lorsque la première zone est exploitée de cette manière, on s'élève sur le remblai de tranche en tranche, à l'aide de galeries-

[1] Pour éviter d'avoir ainsi à remonter le remblai sur ces rampes un peu raides, on a installé à Montceau de petits plans inclinés, sur lesquels deux wagons de charbon, en descendant la pente, remontent un wagon de remblai et un wagon vide. (Mathet, *Mines de Blanzy, puits Sainte-Eugénie, Projet d'exploitation*, in-4°. Paris, 1880, p. 13.)

Digitized by Google

maîtresses superposées à la première, ou déjetées successivement à droite et à gauche. Seulement on s'abstient de refaire pour chaque niveau une galerie de contour, qui ne présenterait pas d'utilité. Les chantiers viennent alors simplement buter contre la roche encaissante, si elle est nettement détachée du minerai, ou ils s'arrêtent devant l'appauvrissement dans les stockwerks irréguliers.

Si l'on reconnaît au milieu de l'amas la présence d'un nerf sté-

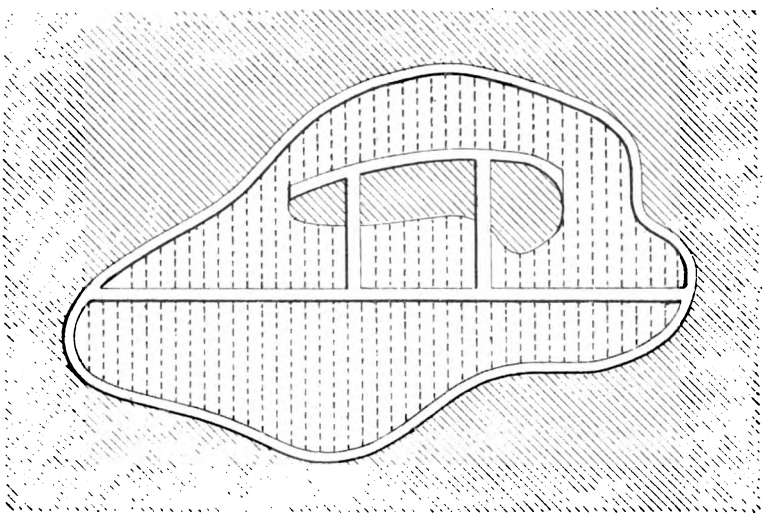


Fig. 376. — Méthode horizontale. Exploitation d'un amas (coupe horizontale).

rile assez important pour qu'il y ait économie à s'abstenir de le dépiler, on se contente, dans chaque tranche, de le repercer en un nombre suffisant de points pour pouvoir se relier facilement à une mère-galerie établie à son revers. Alors on laisse buter contre le nerf les viailles branchées sur l'artère principale, et l'on en établit un second système à l'opposite[1].

On emploie à Commentry[2], dans des parties irrégulières qui

[1] On peut citer comme exemples de ce genre d'exploitation la mine de plomb du Bleyberg-ès-Montzeu, celle de la calamine de Moresnet (Vieille-Montagne), le stockwerk cuivreux de la Preugne (Allier), l'amas de pyrite cuivreuse de Fahlun (Suède), la mine d'argent de Sala (Suède), l'amas de pyrite de fer cuprifère d'Agordo (Haute-Vénétie). (Haton de la Goupillière, *Annales*, 5e, VIII, 407.)

[2] Au puits du 12-Juillet, ainsi qu'à Montvicq.

Digitized by Google

procèdent par renflements et amincissements successifs, une méthode mixte, participant à la fois du mode incliné et du mode horizontal [1]. On prend sur le mur, en suivant toutes ses inflexions, une tranche unique, qui présente une épaisseur normale de chantier. Elle est déhouillée en grande taille montante, par une équipe de piqueurs qui restent constamment alignés suivant un seul front horizontal. A des intervalles de temps successifs, on les retrouve par suite sur des courbes de niveau consécutives, et de plus en plus élevées. En même temps, un autre poste enlève tout ce qui reste en couronne, à l'aide d'un ouvrage en travers qui progresse par tranches horizontales superposées. On déhouille chacune d'elles en y prenant pour base d'opérations le chantier du mur, pratiqué par les premiers piqueurs, et poussant jusqu'au toit. Cette seconde exploitation marche de conserve avec la première, que l'on suit aux divers niveaux, en montant sur le remblai de tranche en tranche. Le chantier reçoit les matériaux du remblayage par des plans inclinés, pratiqués préalablement sur le mur à partir du sommet de l'étage; et l'on ménage pendant leur pose d'autres plans inclinés, pour descendre le charbon jusqu'à la voie de fond.

§ 3

MÉTHODE HORIZONTALE — MODE EN LONG

535 — Une tranche horizontale d'un gîte puissant incliné représente assez exactement l'un des lopins de la méthode des massifs longs (N° 459), car elle a une largeur limitée en même temps qu'une longueur indéfinie. Un pareil massif peut se dépiler en long ou en travers, et nous avons déjà fait ressortir cette analogie en parlant du foudroyage (N° 471). Elle se poursuit encore avec l'emploi du remblai, et après avoir dans la méthode en travers effectué cette opération au moyen d'ouvrages perpendiculaires

[1] Nous retrouverons dans la méthode d'Almaden (N° 541) une association analogue, d'une tranche prise sur le mur avec des ouvrages en travers complétant le dépècement du gîte. Seulement, la tranche inclinée y est foncée en descendant, tandis qu'à Commentry elle est déhouillée en montant, ce que permet l'absence de grisou.

Digitized by Google

à la direction, l'on peut conduire le remblayage d'une manière chassante, dans le second mode que nous avons maintenant à décrire.

Ce système comporte trois variantes très différentes, suivant l'importance de la traversée du gîte : mince, moyenne ou puissante. Elle se prête en effet à tous les degrés de la puissance. Au contraire, la méthode en travers, que nous venons de décrire, suppose évidemment une épaisseur notable[1]. Pour une largeur trop faible, l'emploi des traverses introduirait une complication qui rendrait l'exploitation plus onéreuse que rémunératrice ; et pour des filons suffisamment minces, la mère-galerie occuperait à elle seule toute la puissance, et même une partie des épontes. Cette méthode est donc absolument spéciale aux gîtes puissants, de même que nous en avons précédemment rencontré, comme la méthode des gradins droits, qui restaient exclusivement affectées aux gîtes minces. Au contraire, nous avons reconnu, dans celle des gradins renversés (N° 523), une méthode *extensible* de la catégorie des gîtes minces à celle des filons puissants. Le mode horizontal en long nous fournit un second exemple d'une semblable élasticité. Mais il revêt, suivant les divers cas, des formes très différentes que je vais chercher à faire ressortir.

536 — *Traversée mince.* — Pour prendre par ce procédé[2] un lopin limité par les niveaux A, B et les montages P, Q (fig. 377), on le dépèce au moyen d'une série de chantiers horizontaux qui occupent toute sa largeur, et souvent même entaillent les épontes. Chacun d'eux se trouve établi sur le remblai du précédent.

Le chantier M est attaqué par le montage P, et poussé jusqu'à l'autre extrémité. Le minerai descend par P à la voie de fond A. Lorsque la taille a percé dans le montage Q, on remblaye en recu-

(1) Cette circonstance établit une sorte de compensation entre la méthode inclinée, qui est limitée aux traversées modérées, et la méthode en travers, qui ne saurait s'abaisser à des largeurs insuffisantes.

(2) Filons de Pontgibaud (Puy-de-Dôme), Bormettes (Var), Pontpéan, Sainbel, Idria, Berezowski, Diepenlinchen (Stolberg), Lhorcajo (Andalousie); Charbonnages de Bessèges, de Carmaux (Tarn), de Chatelus N° 2 (Beaubrun), Saint-Laurs (Deux-Sèvres), Marsanges (Haute-Loire), Champagnac (Cantal).

Digitized by Google

lant à partir de P, et amenant les terres par le niveau B et la descenderie Q. Dès que le remblayage a un peu rétrogradé, on peut, sans

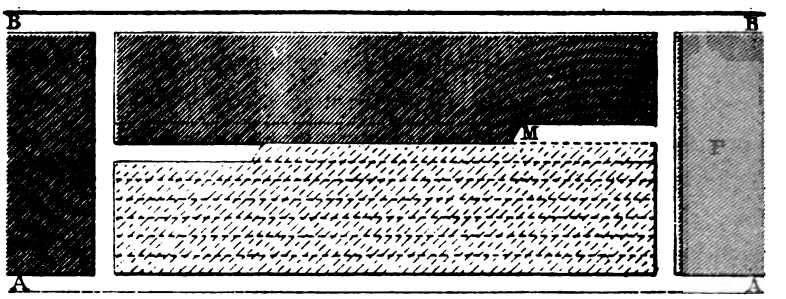


Fig. 377. — Méthode horizontale en long. Traversée mince (coupe par le plan du filon).

attendre sa terminaison, attaquer une nouvelle taille à partir de P, en montant sur ce remblai.

Si plusieurs lopins contigus sont dépilés en même temps, on les prend alternativement de droite à gauche et de gauche à droite, de manière que le montage qui les sépare serve à la fois pour tous les deux, soit à évacuer le minerai, soit à fournir le remblai.

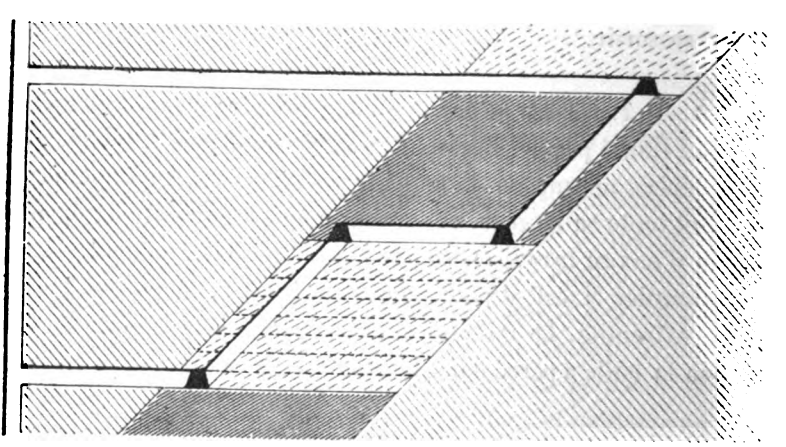


Fig. 378. — Méthode horizontale en long. Traversée moyenne (coupe verticale en travers).

537 — *Traversée moyenne.* — On commence (fig. 378) par tracer dans la tranche deux galeries de direction près du toit et

Digitized by Google

près du mur[1]. Les petites bandes de charbon qui les séparent de ces épontes se prennent à part. On pousse ces voies jumelles jusqu'aux limites du quartier, en les reliant de distance en distance par quelques recoupes d'aérage, plus ou moins espacées selon l'abondance du grisou (N° 406).

Arrivé à la limite, on ouvre une dernière recoupe, puis on en prend le flanc pour front de taille, et l'on ramène celui-ci en chassant jusqu'au point de départ. Le charbon gagne, par l'une des galeries, le plan incliné qui le descend à la base de l'étage; le remblai descend lui-même du haut de la costresse supérieure sur un autre plan incliné, et atteint le chantier par la seconde galerie. Le long du front de taille se trouve un chemin de fer, que l'on ripe latéralement pour suivre l'avancement.

538 — *Traversée puissante.* — Si la puissance devient excessive, ou si, en la supposant modérée, le charbon manque de la solidité réclamée par l'appareil précédent, on restreint les tailles à une faible largeur, comme dans les filons minces, et l'on juxtapose un nombre suffisant de ces recoupes pour occuper toute la traversée[2].

Deux galeries d'allongement (fig. 379) sont ouvertes dans la tranche près du toit et du mur, pour assurer, comme dans le cas précédent, le service du charbon et du remblai; les petites bandes contiguës aux épontes étant prises à part. La masse centrale est divisée en lopins au moyen de traverses pratiquées de distance en distance, et servant à l'aérage pendant le percement des galeries jumelles. Chacune de ces traverses fournit une base d'opérations pour déhouiller les deux lopins qu'elle sépare; et, en même temps, chaque lopin est attaqué par ses deux extrémités à l'aide des traverses qui le limitent.

[1] Cette méthode a été employée à Commentry, Montceau-les-Mines (Sainte-Marie), Comberigol (Rive-de-Gier), la Malafolie (Firminy), Dombrowa (Pologne russe).

[2] Aubin (le Montet), la Béraudière, Commentry, le Creusot, l'Huisserie (Mayenne), Saint-Laurs, Lucy, Mars (Loire), Sainte-Élisabeth et Saint-François (Montceau), Saint-Félix (Loire), Belmez (la Terrible, près de San-Eliza), Trifail (Styrie), Sagor (Styrie), Anina (Steierdorf, Hongrie); mine de graphite de Schwarzbach (Bohême); mines de fer d'Eizenerz (Styrie), Bindt (Hongrie, comitat de Zips).

Digitized by Google

Le dépilage se fait au moyen de recoupes contiguës, que l'on prend l'une après l'autre, et dont les deux avancements se rencontrent au milieu de la longueur. A partir de ce point, on remblaye en reculant vers les extrémités.

Il arrive parfois que la planche longue et mince à laquelle

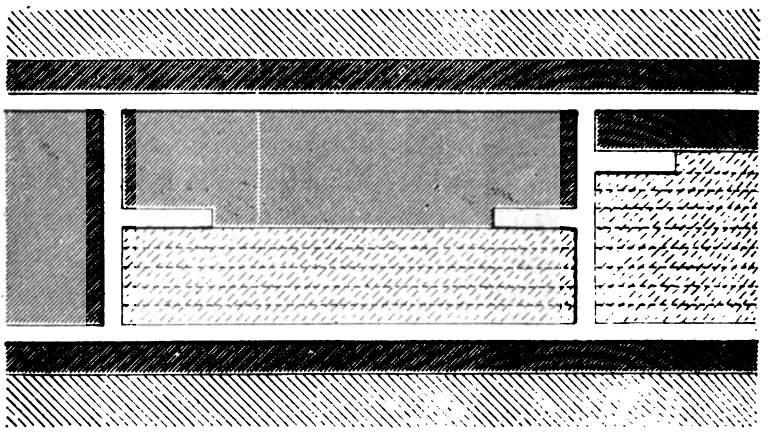


Fig. 379. — Méthode horizontale en long. Traversée puissante (coupe horizontale).

se réduit le lopin vers la fin des opérations, manquerait de la résistance nécessaire. Dans ce cas, on ne pousse pas l'application du système jusqu'au bout. On l'arrête quand la limite convenable de solidité paraît atteinte, et l'on achève de dépiler le stross restant à l'aide de petites tailles en travers.

§ 4

MÉTHODE VERTICALE

539 — *Généralités.* — La méthode verticale perd tous les jours du terrain dans l'application. Cependant son principe doit être retenu en vue de circonstances spéciales. Il consiste, tout en prenant les étages dans l'ordre descendant, à dépecer chacun d'eux en montant, mais en restreignant chaque attaque à une surface assez limitée en projection horizontale, pour que l'on ait le temps de s'élever jusqu'au sommet de la pile avant que les inconvénients que l'on

Digitized by Google

redoute, comme conséquences de l'exploitation, arrivent à se développer. C'est surtout en vue de l'inflammabilité excessive de divers combustibles que cette méthode a été instituée[1], mais elle présente divers défauts.

Le chantier est en effet rétréci et défavorable au rendement du piqueur. Les cheminées de communication, établies sur une grande hauteur, brisent le charbon. La production peut difficilement acquérir une grande intensité avec des ateliers aussi étriqués, à moins de les multiplier sur un très grand nombre de points en compliquant la surveillance.

540 — *Houillère de Firmy.* — La couche de Firmy (Aveyron)[2] a 9 mètres de puissance et 70° d'inclinaison. On la partageait, sur 1200 mètres en direction, en quartiers de 100 mètres, et, suivant la hauteur, en étages de 12 mètres, dépecés eux-mêmes en six zones horizontales de 2 mètres, AB, BC, CD, DE, EF, FG (fig. 380). La zone inférieure comprend la voie-de-fond, qui est muraillée et voûtée. Les cinq autres se succèdent jusqu'à la galerie ménagée pour le service actuel des remblais, dans l'étage supérieur déjà remblayé. Chaque quartier est divisé en *piles* de 3 mètres en direction, s'étendant du toit au mur et prises consécutivement, une seule à la fois sur chaque point, de telle sorte que l'on n'en attaque une nouvelle que lorsque celle qui lui est contiguë a percé au faîte de l'étage.

(1) Outre les deux exemples de Firmy et d'Almaden que nous décrivons ici en détail, on peut citer pour mémoire l'exploitation, actuellement épuisée, des dressants de Fournier (Grand'Combe) (*Annales*, 7e, IV, pl. V); la méthode, aujourd'hui abandonnée, *des grands abatages*, dont on voit encore les piliers de maçonnerie à Bourran (Decazeville); l'ancienne méthode *des bouillards*, à la Bazouge (Mayenne), dans laquelle on prenait en gradins renversés, en travers sur la direction, un lopin de 2 mètres d'allongement et 10 mètres de hauteur (Blavier, *Essai statistique, minéralogique et géologique sur le département de la Mayenne*); l'exploitation de Malpertus (Gard), et de certaines parties de Sainbel, prises en travers sur une très courte longueur en direction, et en achevant une pile jusqu'au sommet de l'étage, avant d'attaquer la voisine.

Dans certains quartiers de Saint-Éloy, on voit associées les méthodes verticale et horizontale (Guillaumat, *Bull. min.*, 3e, III, 1397).

(2) Cohrat, *CRM*, avril, 1877, 1. — Delafond. *Annales*, 8e, XIX, 269.

Cette méthode intéressante a aujourd'hui disparu. On l'a remplacée avantageusement par l'emploi de tranches horizontales chassantes, en passant sous le remblai.

Digitized by Google

Pour prendre la première zone AA′ BB′, on crève les piédroits de la maçonnerie en étançonnant la voûte, et l'on bat au large jusqu'au mur et au toit. Puis on remblaye en reculant, et l'on rétablit les piédroits.

Pour enlever la seconde tranche, on crève la voûte en BB′, et l'on coupe le charbon pour s'élever de 2 mètres au-dessus du rectangle projeté en AA′. Ensuite on bat au large dans les deux sens jusqu'aux deux épontes, et l'on remblaye en reculant. Cepen-

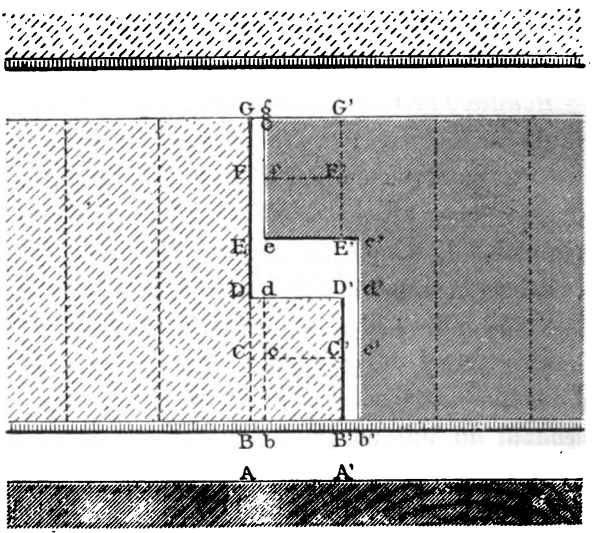


Fig. 380. — Méthode verticale. Houillère de Firmy (coupe verticale en long).

dant, on ménage la cavité parallélépipédique qui se trouve au-dessus de la galerie dont on rétablit la voûte qui formera la sole de cette cavité.

On a soin de ménager une ouverture B′*b′ prélevée sur la pile suivante*, et au-dessus de laquelle on entaille, dans cette pile, un conduit B′ *b′* C′ *c′*, partagé en deux travées, qui sont boisées en forme de cheminée, l'une pour le passage des hommes et de l'air, l'autre destinée à la descente du combustible. Cette cheminée à charbon, s'accroissant quand on s'élèvera de tranche en tranche, finira par atteindre le faîte lorsque la pile s'achèvera, et qu'il s'agira de

Digitized by Google

passer à la suivante. A ce moment elle changera de rôle, et servira pour descendre, dans les zones successives de cette nouvelle pile, le remblai amené par la galerie supérieure. C'est ce que l'on voit sur la figure 380 sur la pile actuelle en G*g*D*d*, qui résulte du raccourcissement par le bas, en raison du remblayage, de la cheminée G*g*B*b* prélevée antérieurement au détriment de cette pile, lors de l'exploitation de la précédente actuellement remblayée. On reconnaît dans ce dispositif l'ouvrage en baïonnette, décrit ci-dessus (N° 495) pour un plan qui alors était horizontal, ou du moins très couché, et qui est ici devenu vertical.

Pour prendre la troisième tranche, on s'exhausse de 2 mètres au-dessus de la chambre ménagée à l'aplomb de la galerie, puis on remplit cette dernière cavité, afin de procurer une sole au nouveau chantier. On bat au large dans les deux sens, et l'on remblaye ensuite en rétrogradant à partir du toit et du mur. On continuait ainsi à Firmy de tranche en tranche.

541 — *Mine de mercure d'Almaden.* — La belle méthode suivie dans la mine d'Almaden[1] emprunte un intérêt particulier à l'antiquité de cette exploitation commencée par les Phéniciens, à la richesse de ce gisement, qui a été appelé le *joyau de la couronne d'Espagne*, et à l'emploi aujourd'hui exclusif, comme remblai, de la maçonnerie appareillée sous des formes très remarquables.

Le gîte est composé de trois filons-couches qui portent, en allant du mur au toit, les noms de San-Nicolas, San-Francisco, San-Pedro. L'épaisseur de l'ensemble est d'environ 25 mètres, la puissance utile 12 mètres. L'un des nerfs est assez important pour être respecté; l'autre est enlevé en même temps que les deux filons du mur. Le pendage est de 75 à 80° NE. Le gisement est reconnu en

[1] Due à l'initiative de l'ingénieur don Diego Larranaga en 1804. On peut consulter sur ce sujet les monographies suivantes: Don José de Monasterio (*Rev. univ. d. m.* 1re, XXIX, 1). — Esquerra del Baio (*Laboreo de Minas*). — Bernaldez y Rua Figueroa (*Memoria sobre las minas de Almaden*, 1861). — Henry (*Annales*, 7e, I, 444). — Küss (*Annales*, 7e, XIII, 39; XV, 524; 8e, XI, 136). — Rapports du jury de l'Exposition de 1867, V, 677. — Gandolfi, Les mines et usines d'Almaden, *Rev. univ. d. m.*, 3e, VI, 175. — Nordenström, Méthode d'Almaden, *Teknisk Redogorelse fran svenska Kommissariatet*, 1883, 85.

Digitized by Google

direction sur 180 mètres environ. Il semble augmenter de longueur et de puissance dans la profondeur, tandis que l'épaisseur des nerfs va en diminuant. La hauteur actuelle des travaux atteint 350 mètres.

Le minerai, qui est le cinabre à peu près massif, rend en grand 9 à 10 pour 100 de mercure en moyenne, cette teneur variant de 4,5 à 44 pour 100 selon les échantillons. Le tonnage total, de 1564 à 1873, avait été de 120 180 tonnes de mercure. Il s'est élevé à 32 200 tonnes environ dans les vingt années suivantes (1874-1893). Pendant cette dernière période la plus forte production a été atteinte en 1887 avec 1888 tonnes, représentant au cours de cette année une valeur de 10 290 000 francs. Elle a légèrement baissé depuis lors; en 1893, elle a été de 1666 tonnes de mercure, valant 6 972 000 francs.

542 — Chacune des deux exploitations séparées par le gros nerf est conduite de la manière suivante (fig. 381, 382). Le gîte est divisé en étages de 25 mètres de hauteur, et chaque étage en *foncées*, qui présentent $3^m,40$ en direction. On exploite ces dernières de deux en deux sur toute leur hauteur, avant de passer aux foncées adjacentes qui les séparent, et qui subsistent parfois très longtemps à l'état de réserves.

Pour prendre une foncée, on enlève d'abord sur le mur une tranche inclinée de $2^m,50$ d'épaisseur. Ce dépilage se fait en descendant, avec des gradins droits ou renversés, et en soutenant la paroi à l'aide de bois transversaux. Une fois parvenu au fond de l'étage, on pousse du mur au toit une traverse sur toute la largeur de la foncée, entre les deux massifs réservés qui la limitent. Dans ce vide on établit à loisir une voûte surbaissée en maçonnerie, dont la corde est inclinée sur l'horizon afin de rester perpendiculaire aux épontes. On exhausse alors la taille en remontant, et, au fur et à mesure que s'élève le plafond, l'on construit à la sole des assises de maçonnerie d'épaisseur correspondante. Il faut avoir soin d'opérer à cet égard avec lenteur, afin qu'elles aient le temps de sécher avant de se trouver surchargées. Ce procédé conduit ainsi jusqu'au sommet de l'étage un massif qui remplace celui de minerai.

Digitized by Google

Quant aux piles intercalées, on les exploite en descendant pour plus de facilité. Il est inutile de les remblayer, les piliers de maçonnerie suffisant largement à maintenir les parois. Seulement on jette sur ce vide des ponts en direction, établissant la continuité des galeries d'allongement qui sont ménagées pour les communications pendant l'édification des massifs intermédiaires.

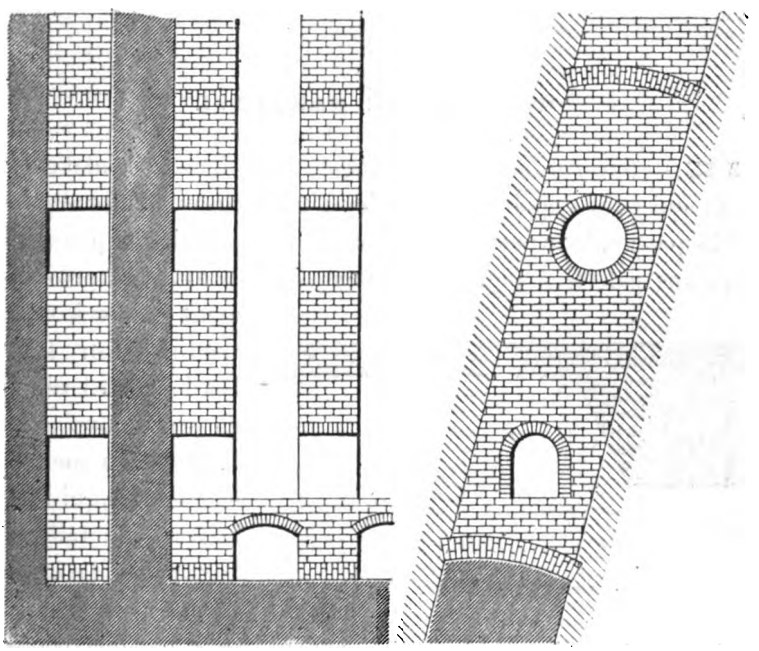


Fig. 381 et 382. — Méthode verticale. Mine de mercure d'Almaden (coupes verticales, en long et en travers).

Pour l'exploitation du onzième étage, on a modifié depuis quelques années la méthode précédente [1]. Les deux groupes de filons sont divisés en lopins de 40 mètres en direction. Dans chacun d'eux on enlève d'abord toute la zone médiane par un ouvrage en gradins renversés, avec boisage provisoire. Puis, de part et d'autre de cette tranche centrale, on reprend des colonnes espacées de minerai, opposées deux à deux, en remblayant comme ci-dessus par

[1] Kuss, *Annales*, 8e, XI, 136.

Digitized by Google

des massifs de maçonnerie les travées ainsi dégagées du mur au toit. On termine enfin par le dépilage, sans remblai, des piles intercalées, qui ont été réservées pendant la période précédente. Les galeries principales de roulage sont placées dans le banc stérile séparant les deux groupes de filons; elles communiquent avec eux tous les 40 mètres.

§ 5

METHODE DE RABATAGE

543 — *Généralités.* — Le *rabatage* est un mode spécial d'exploitation qui peut s'appliquer dans les gîtes suffisamment redressés, quelle que soit leur puissance. Il consiste, en principe, à pousser en avant une galerie A (fig. 383) au-dessus d'une autre B, préalablement établie à un niveau inférieur. Toutes les deux sont réunies par une taille *inclinée* C. Celle-ci a pour toit le minerai, qui forme le front de taille de l'avancement; on lui donne pour sole le remblai, qui sert à combler le vide produit par cet avancement en bouchant progressivement la galerie B. Cette dernière va donc incessamment en se raccourcissant, tandis que A s'allonge, et que la taille C se déplace parallèlement à elle-même.

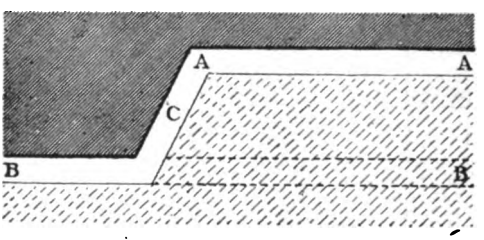


Fig. 383. — Rabatage (coupe verticale).

L'inclinaison du chantier C est essentiellement celle du talus naturel, que prend le remblai ameubli. Les wagonnets arrivent par la voie supérieure A, et sont culbutés au sommet de la taille. Les terres se mettent en place d'elles-mêmes. Au fur et à mesure que l'on ajoute ainsi une épaisseur à la sole, on enlève, suivant une parallèle au talus, une épaisseur égale de combustible. Celui-ci roule au pied du talus, et on l'y charge dans des wagonnets, qui l'emmènent par la galerie inférieure B.

Digitized by Google

544 — Ce principe suppose essentiellement un charbon solide, pour qu'il puisse se tenir ainsi en surplomb, et ne pas rendre dangereuse la situation de l'ouvrier. Il faut de plus avoir un bon remblai, capable de soutenir les bois, bien que posé d'un seul coup suivant toute la hauteur de la zone exploitée, au lieu d'être successivement consolidé par le tassement de tranches distinctes sur cette grande épaisseur. Celle-ci devra pour cette raison être fixée, dans l'aménagement général, en tenant compte de la nature du remblai dont on dispose.

Cet appareil assure, d'une manière nette, l'indépendance des deux services du charbon et du remblai, dont le mouvement s'effectue par des voies distinctes. Il permet l'aérage ascensionnel. Il supprime les frais de la mise en place du remblai, qui s'effectue par la seule gravité.

En revanche, il oblige au point de vue de la solidité du chantier à en rétrécir la largeur, ce qui est défavorable au rendement du piqueur. Il tend à salir le charbon, qui roule au milieu des terres, non sans danger pour les hommes, et il expose à en perdre une partie. Cet inconvénient est surtout sensible lorsque des mises schisteuses sont interposées entre les lits de la houille, car cette descente en commun tend à mélanger les deux substances et à en rendre le triage moins facile. Pour ce motif, on dispose dans les grands rabatages d'Allevard (Isère) des *platelages*, formés de rondins et d'écoins, et destinés à recevoir dans sa chute le fer spathique, en facilitant sa descente. On les enlève quand on veut ajouter une tranche de remblai, et on les rétablit ensuite.

Le principe du rabatage peut s'appliquer suivant deux modes distincts : *en travers*, ou *en long*.

545 — *Rabatage en travers*[1]. — La couche de Bézenet (Allier)

[1] Cette méthode a pris naissance à Montrambert, et porte pour ce motif le nom de *méthode de Montrambert* (Devillaine, *Bull. min.*, 1re, IV, 240). Elle figure également à La Mure, à Belmez (la Terrible). Elle a été employée à Blanzy, où elle a été abandonnée, à la suite d'une discussion très attentive établie par M. Petitjean, entre elle et la méthode horizontale (*Annales*, 7e, IV, 67). La description que nous en donnons pour la mine de Bézenet n'est plus elle-même qu'un souvenir, car on lui a substitué la méthode inclinée en tailles chassantes (Baure, *Bull. min.*, 3e, I, 741. — Delafond, *Annales*, 8e, XIX, 263).

Digitized by Google

est divisée en sous-étages de 6 mètres de hauteur (fig. 384, 385, 386). Deux galeries d'allongement règnent sur toute la longueur du quartier : la voie supérieure, au mur; la galerie inférieure, au toit. Le

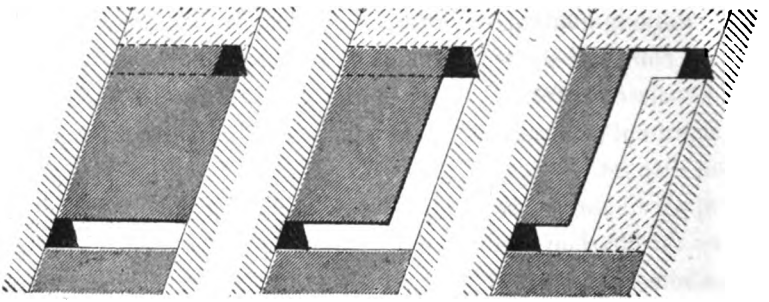


Fig. 384 à 386. — Rabatage en travers. Houillère de Bézenet (coupes verticales en travers).

sous-étage est partagé en massifs de 16 mètres de long, qui forment l'unité d'exploitation.

Le dépilage d'un massif s'effectue en le partageant en quatre lopins A,B,C,D, de 4 mètres en direction. Ces lopins ne sont pas du reste identiques entre eux (fig. 387). On prend d'abord A, en lui donnant deux faces latérales inclinées suivant le talus naturel

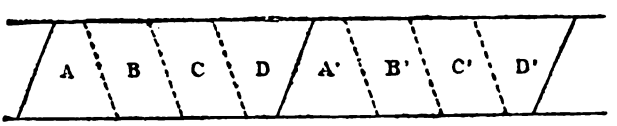


Fig. 387. — Rabatage en travers. Houillère de Bézenet (coupe verticale en long).

des terres. En second lieu B, dont l'enlèvement ne provoquera aucun éboulement du remblai A, puisque celui-ci conserve son talus spontané. Il en sera de même pour C, qui est dépecé en troisième lieu. Mais, avant de prendre D, on a eu soin d'attaquer, en temps utile, le massif suivant, et d'enlever son premier lopin A'. Le déhouillement de D peut alors s'effectuer, sans difficulté, entre les deux talus naturels de C et de A' (1).

(1) On n'emploie guère, en général, pour l'aménagement des gîtes minéraux, que des plans verticaux, horizontaux, ou parallèles à la stratification. On remarquera donc, en

Digitized by Google

Pour dépecer un lopin (fig. 384), on branche sur la voie de fond une traverse de 2 mètres de large, allant du toit au mur. A ce moment, on bat au large sur les 2 autres mètres, et l'on monte une taille sur le mur (fig. 385), avec la largeur totale de 4 mètres. On commence alors le rabatage, en transportant le front de taille parallèlement à lui-même (fig. 386). Afin de mieux soutenir le sous-étage supérieur, on réduit à 2 mètres la largeur de l'entrée des remblais, comme on l'a déjà fait pour la voie de sortie des charbons. A cet effet, on relève les terres sur 2 mètres de large, derrière un parement en pierres sèches.

546 — Le minerai de Saint-Pierre-d'Allevard (Isère) est un carbonate spathique, présentant en fer et manganèse, après grillage, une teneur de 42 pour 100 assurée dans le prix de vente, qui est de 12 francs à 12 fr. 50 sur wagon P.-L.-M., avec majoration en plus ou en moins suivant les écarts de richesse. Celui du minerai cru est de 8 francs, pour l'affouage de l'usine d'Allevard. Le filon a été recoupé et rejeté horizontalement par des failles. Les tronçons ainsi séparés portent le nom de *rues*, et constituent autant de lopins que l'on exploite distinctement [1]. On les partage en étages de 25 mètres de hauteur, à l'aide de galeries d'allongement qui suivent en zigzags les directions respectives des rues et des croiseurs. La galerie supérieure A sert à l'arrivée des remblais (fig. 388, 389, 390), et la voie inférieure B, pour le départ du minerai.

On pratique sur le mur, du haut en bas de l'étage, une cheminée C, qui va sans cesse en se raccourcissant, et finira par disparaître. On prend une enlevure PQ, dont le front de taille se trouve en M. Son plafond est exactement parallèle au talus naturel des terres [2]. Lorsque cette épaisseur est abattue, on verse sur le massif de remblai, en $P_1 Q_1$, une épaisseur égale de stérile que l'on intro-

passant, cette application spéciale de surfaces planes inclinées, qui ont une direction perpendiculaire à celle du gisement.

[1] La méthode que nous expliquons ici pour le mode en travers se pratique cependant la plupart du temps en long dans la mine d'Allevard.

[2] Les figures 388 à 393 supposent ce talus notablement plus couché que le gîte, tandis que, dans le cas précédent, les figures 384 à 386 n'établissaient pas de différence mportante à cet égard.

Digitized by Google

duit par la cheminée C. Ce massif, d'abord nul en B, s'étend peu à peu sous la forme triangulaire BP_1Q_1, et finit par atteindre le point A en achevant de faire disparaître la cheminée. Il devient alors trapézoïdal en $B'P'_1Q'_1A'$, et les terres arrivent alors, non plus en glissant sur le mur, mais, au moyen du roulage, par la traverse $A'P'_1$, que l'on ménage dans la pose de ce remblai. Le trapèze, continuant à grandir, atteint le point b'. A partir de ce moment, on traverse une phase inverse de la première : le massif de remblai, d'abord triangulaire, puis trapézoïdal, devient pentagonal; tandis que celui de minerai, d'abord pentagonal, puis trapézoïdal, se trouve dorénavant réduit à la forme triangulaire. On ménage alors au toit une cheminée C″, qui sert à descendre, dans la traverse inférieure, les

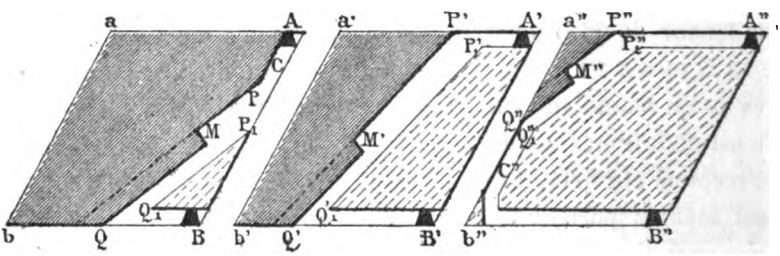


Fig. 388 à 390. — Rabatage en travers. Mine de fer spathique d'Allevard (coupes verticales en travers).

minerais de la taille P″Q″. Quand cette cheminée, de hauteur croissante, atteint le sommet a'', le dépilage est terminé.

Lorsque la traversée devient considérable (fig. 391, 392, 393), on en profite pour établir un chantier double, au lieu de l'atelier simple que nous venons de décrire. On perce, du haut en bas de l'étage, une cheminée C alimentée de remblai par la traverse Aa. On pratique deux rabatages opposés PMQ et Pmq, qui écoulent leurs produits au moyen des traverses QB et qb. Le massif de remblai PQq grandit peu à peu, tandis que la cheminée va en se raccourcissant. Il arrive un moment où les talus rencontrent, l'une après l'autre, les extrémités B et b. Le triangle du stérile devient alors un quadrilatère, puis un pentagone; les pentagones de minerai se réduisent, au contraire, à des quadrilatères. On ménage au toit et au mur, des cheminées Q′B′ et $q'b'$, pour la descente du fer carbonaté. La

Digitized by Google

progression de l'ouvrage finit par atteindre le point c', en achevant

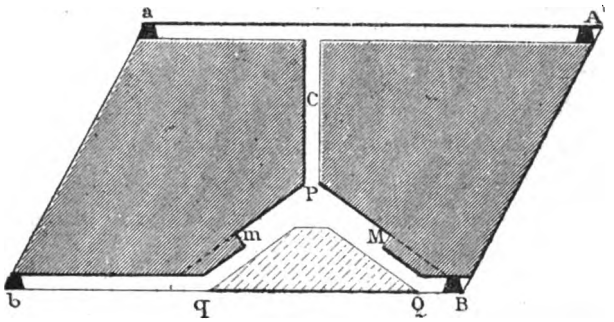


Fig. 391. — Rabatage en travers. Mine de fer spathique d'Allevard (coupe verticale en travers).

de supprimer la cheminée centrale. Le massif de remblai devient

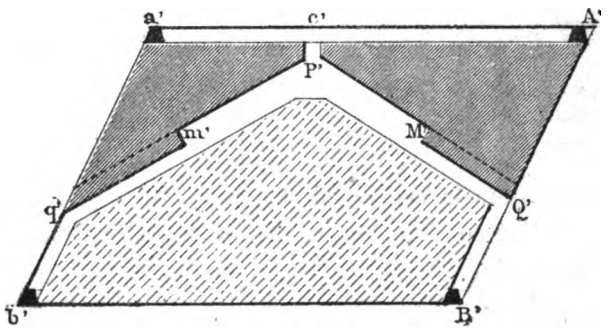


Fig. 392. — Rabatage en travers. Mine de fer spathique d'Allevard (coupe verticale en travers).

un hexagone; ceux de minerai se réduisent à des triangles. Ils achè-

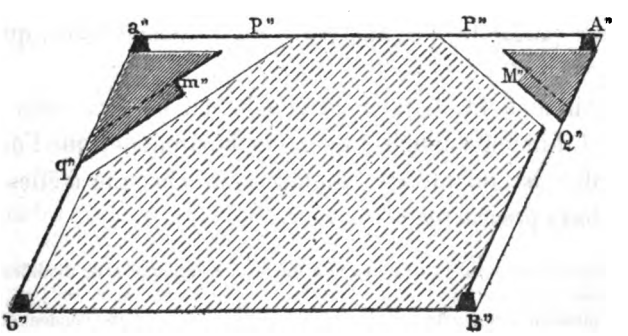


Fig. 393. — Rabatage en travers. Mine de fer spathique d'Allevard (coupe verticale en travers).

Digitized by Google

vent de disparaître, lorsque leurs cheminées respectives s'accroissent jusqu'au sommet de l'étage.

547 — *Rabatage en long.* — Il existe entre ce mode et le précédent la différence déjà rencontrée dans la méthode horizontale, qui comporte aussi les deux modes : en travers ou en long. Comme pour la méthode horizontale en long, il y a lieu de distinguer, dans le rabatage en long, plusieurs variantes, suivant l'importance de la traversée du gisement.

1° *Rabatage unique en largeur et en hauteur.* — Supposons d'abord le gîte assez mince pour que l'on puisse en prendre d'un seul coup toute la largeur (1); et en outre sa solidité assez marquée, et le remblai assez bon, pour permettre également d'aborder une hauteur importante.

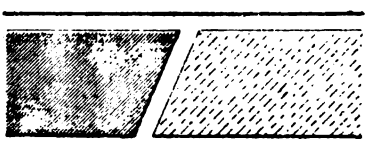


Fig. 394. — Rabatage en long. Houillère de Lalle. (coupe par le plan du dressant).

On partage alors la couche en étages (fig. 394) par des niveaux successifs, et l'on conduit dans chacun d'eux un rabatage sur une longueur indéfinie (2).

548 — 2° *Rabatage unique en largeur, multiple en hauteur.* — Imaginons, en second lieu, une couche assez mince pour être prise d'un seul coup dans toute sa largeur, avec un charbon d'une solidité trop médiocre, ou un remblai de consistance trop insuffisante, pour permettre des hauteurs aussi considérables que dans le cas précédent.

On continue à fractionner la couche en étages; mais chacun d'eux est lui-même subdivisé en zones horizontales que l'on prend dans l'ordre ascendant, en montant pour chacune d'elles sur le remblai de la précédente.

(1) Dans des cas favorables, ce système a même été appliqué sans modification pour d'assez grandes puissances.

(2) Cette méthode est suivie à Lalle, à Carmaux, à Faymoreau (Vendée) et dans les parties inclinées de la couche des Littes, à la Béraudière. On la rencontre également dans les mines d'ozokérite de Borislaw (Gallicie).

Digitized by Google

Les figures 395 et 396 (¹) représentent la coordination que l'on

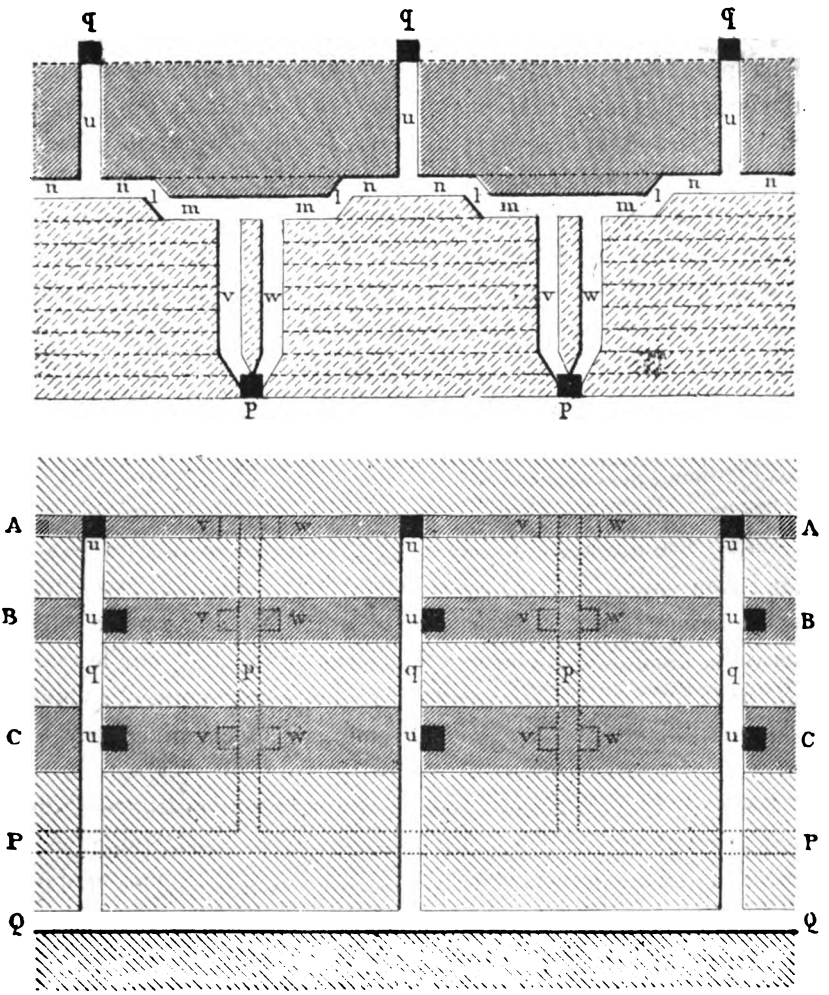


Fig. 395 et 396. — Rabatage en long. Houillère de Brassac (coupes verticale en long et horizontale).

établit entre plusieurs exploitations semblables, installées dans des

(¹) La description suivante se rapporte à la mine que possède la Compagnie du Creusot à Brassac (Puy-de-Dôme).

Ce système a été suivi également à la mine de Chapin (Lac Supérieur) et dans la houillère de Tong (Chine septentrionale. Rapport de Kwong Yung Kwang, revu par Silliman, *Trans. americ. min.*, XVI, 95).

Digitized by Google

couches minces rapprochées, de manière à comporter un aménagement commun, tout en restant séparées par des entre-deux assez importants pour mériter d'être respectés. L'étage est déterminé par deux maîtresses-voies, P à la base, Q au sommet, qne je suppose, afin de fixer les idées, pratiquées dans la roche du mur. Des travers-bancs *p* partent de P, traversent toutes les couches, et aboutissent à celle du toit A, en déterminant sur chacune d'elles une division en panneaux. D'autres travers-bancs *q*, branchés sur Q, aboutissent au milieu de ces panneaux. Des cheminées *u* servent à descendre dans les chantiers le remblai amené par Q et *q*. Des cheminées *v* permettent la descente du charbon, qui est évacué par *p* et P. D'autres couloirs *w* restent libres pour le passage des hommes et de la ventilation, qui parviennent aux tailles par les voies P et *p*. L'air monte ensuite à l'étage supérieur à travers des maillages spéciaux.

Les tronçons *m* représentent ce qui reste de la taille précédente, conduite à ce niveau, et qui va incessamment en se raccourcissant par l'avancement du rabatage *l*. Ils servent à conduire aux cheminées *v* le charbon de ces rabatages. Les parties *n* figurent la taille nouvelle, attaquée à un niveau supérieur en montant sur le remblai de la précédente. Elles s'allongent progressivement, et conduisent aux rabatages le remblai, descendu par les cheminées *u*.

549 — 3° *Rabatage multiple en largeur et en hauteur.* — Supposons enfin que la puissance devienne trop considérable pour que l'on puisse prendre toute la largeur du gîte au moyen d'un seul rabatage.

On partage alors cette traversée en un certain nombre de rabatages contigus. Nous pouvons, en quelque sorte, passer par la pensée de la méthode précédente à celle-ci, en réduisant progressivement à rien les entre-deux [1].

[1] Cette méthode intéressante est appliquée à Cransac (mine de la Balance), avec les maîtresses-voies au toit (Bidache, *Bull. min.*, 2e, VII, 351). La figure 397 présente le plan *réel* de cette mine, en même temps que la figure 398 fournit le diagramme *théorique* de sa description.

C'est à dessein que j'ai rapproché ces deux sortes de figures, afin de montrer, comme ci-dessus pour les figures 284 et 285, 313 et 314, la différence qui sépare l'abstraction de

Digitized by Google

L'étage est formé de deux tranches (fig. 398). On y pratique deux

la réalité, en raison des nombreuses causes secondaires de perturbation que les circonstances opposent à la rigueur des conceptions théoriques. Les praticiens reconnaîtront que j'ai choisi, pour ce dernier exemple, l'un des cas dans lesquels la différence est le moins accusée. La plupart du temps, il faut même une certaine expérience pour recon-

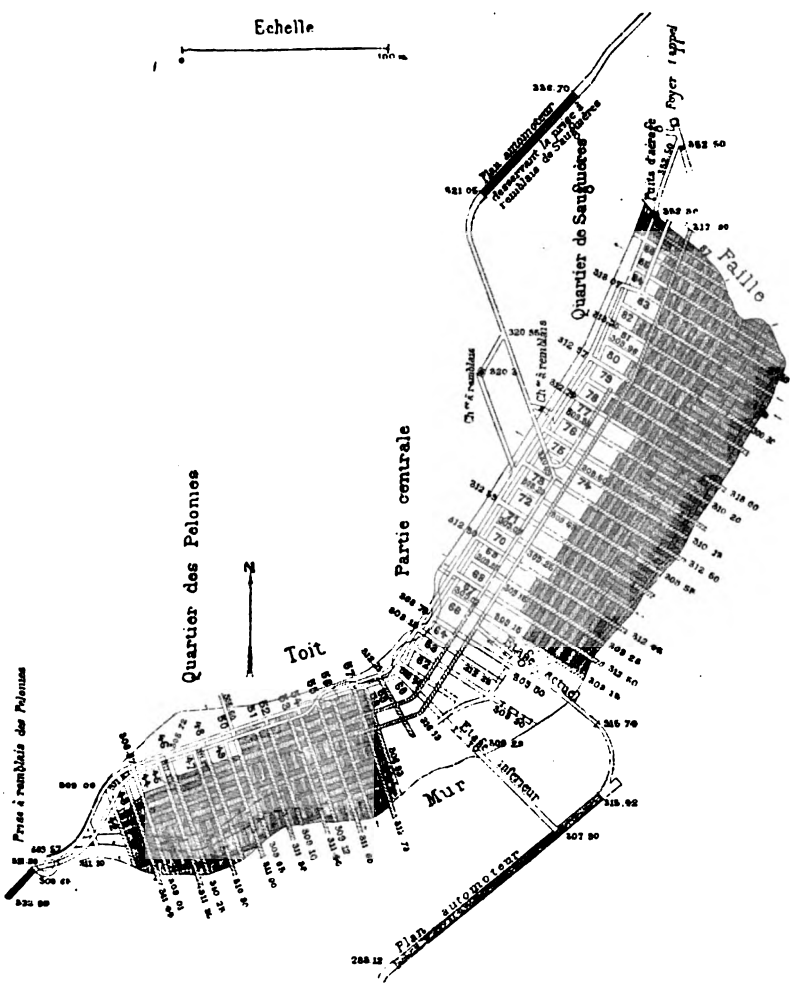


Fig. 397. — Rabatage en long. Houillère de Cransac (la Balance) (plan réel).

naître, dans un plan de mine, l'application des descriptions qui ont été présentées d'une manière systématique dans ce Cours. On trouvera encore quelques autres types de plans réels dans les chapitres XLVII et XLVIII, consacrés aux accidents de mine.

La même méthode se rencontre encore à Cransac (mine de la bifurcation), non plus en tranches horizontales, mais avec des tranches inclinées.

Digitized by Google

galeries d'allongement P et Q, que je suppose établies près du mur, la première en tranche inférieure, la seconde en tranche supérieure. La petite bande comprise entre ces voies et la roche est prise à part, comme dans plusieurs méthodes précédentes, et je n'y reviendrai pas. Sur ces galeries costresses, on branche des traverses : *p* au niveau inférieur, et *q* pour la tranche supérieure. Les premières sont projetées au milieu des panneaux déterminés par ces dernières. Ces traverses forment à leur tour les bases d'opération de systèmes de recoupes contiguës, telles que *m*, qui sont déhouillées l'une après l'autre, en revenant du toit vers le mur.

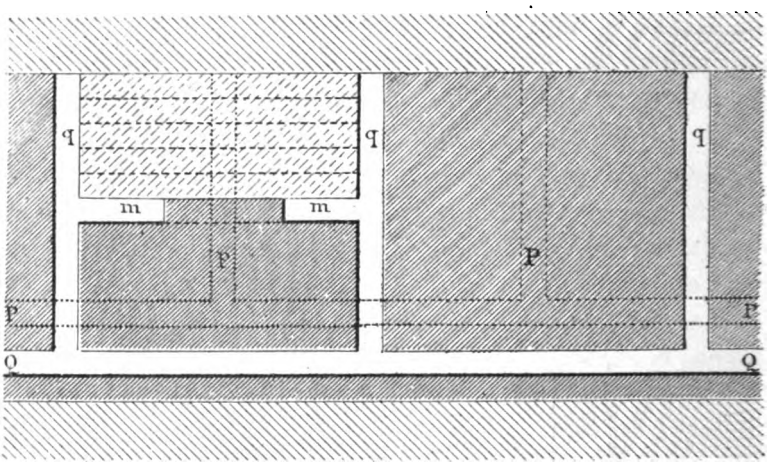


Fig. 398. — Rabatage en long. Houillère de Cransac (la Balance) (coupe horizontale schématique).

Pour prendre une recoupe *m*, on attaque en première tranche par les traverses *p*, avec deux équipes de piqueurs qui se tournent réciproquement le dos. Lorsque l'on est parvenu sous les traverses *q*, on crève en seconde tranche, on verse du remblai par *q*, et l'on revient en rabatage vers *p*. Pendant cette phase rétrograde, on écoule, comme tout à l'heure, les charbons par la recoupe inférieure jusqu'à la traverse *p*, d'où ils passent dans la voie-maîtresse P. En même temps, on remblaye cette recoupe inférieure par le rabatage, au moyen des terres que l'on amène par Q et *q*. On arrive ainsi à déhouiller toute la recoupe supérieure, en rem-

Digitized by Google

plissant celle du fond; après quoi l'on remblaye, en reculant, la recoupe supérieure elle-même. C'est alors que l'on passe au couple contigu de recoupes.

550 — 4° *Rabatage à double remblai.* — On a combiné (1) avec la méthode de rabatage l'idée ingénieuse que nous avons déjà rencontrée dans la méthode des gradins (N° 518), lorsqu'il s'agit d'exploiter un filon de matière précieuse. Elle consiste, ainsi que nous l'avons vu, à se servir temporairement de la partie la moins riche, comme remblai provisoire, en finissant cependant par tout

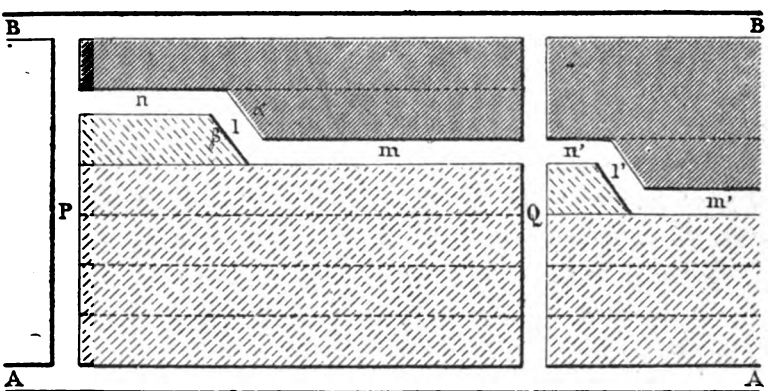


Fig. 399. — Rabatage en long. Mine de blende d'Ameberg (coupe par le plan du filon).

sortir au moyen de l'introduction d'un remblai définitif absolument stérile.

Le filon est aménagé en étages par les niveaux A,B (fig. 399), et en lopins par les montages P,Q. On conduit un rabatage *nlm*, en attaquant en *l* le minerai *α*, expédiant au jour le plus riche après un triage sommaire, par *m*, Q, A, et conservant, du plus pauvre, une quantité suffisante pour accroître en β le massif de *remblai riche* sur lequel est monté le mineur, et qui va en s'allongeant de *n* vers *m*.

(1) A la mine d'Ameberg (Suède), où l'on exploite ainsi un gîte de blende argentifère, interstratifié dans les masses de gneiss, et fournissant, par année, une dizaine de milliers de tonnes de minerai lavé.

Digitized by Google

Quand l'ouvrage a percé dans le montage Q, on suspend l'abatage de cet atelier. On vide, par P et A, tout le massif de remblai riche. Puis l'on remplit la bande β avec du *remblai stérile*, amené du dehors par B et P, en conservant seulement la galerie *n* sur toute la longueur du lopin, pour qu'elle devienne la voie de débardage, par Q et A, du minerai que produira un nouveau rabatage, attaqué en P au-dessus du précédent.

Digitized by Google

CHAPITRE XXII

COMPARAISON DES MÉTHODES

—

§ 1

FILONS ET AMAS

551 — *Filons.* — Je me suis attaché, dans cette longue et laborieuse classification des méthodes d'exploitation, à joindre à la description technique de chacune d'elles la discussion de ses avantages et de ses inconvénients, de manière à permettre de juger à quel ensemble de circonstances elle peut le mieux convenir.

Il y a lieu maintenant de renverser les termes du problème, et de prendre comme point de départ les conditions qui définissent le gîte, en cherchant à en déduire le choix de la méthode qui lui sera le mieux appropriée. Il ne saurait en effet être question d'établir, par une discussion générale, et d'une manière absolue pour tous les cas possibles, une sorte de suprématie au profit de l'une de ces méthodes, ou d'un petit nombre d'entre elles, sur toutes les autres. Elles ne deviennent préférables l'une à l'autre, que si l'on a égard aux circonstances présentées par chaque gisement. Il serait même facile de concevoir que ce puisse être, dans un cas spécial, un égal progrès de part et d'autre, de voir deux mines échanger mutuellement leurs méthodes, mieux adaptées respectivement, après cette permutation, aux conditions des deux masses minérales.

Rappelons tout d'abord que l'on distingue trois sortes de gîtes minéraux : les filons, les amas et les couches, et envisageons successivement ces trois genres de formations.

Digitized by Google

552 — Les filons présentent presque toujours l'une ou l'autre des conditions qui recommandent l'emploi du remblai. Souvent ils sont très minces ; et la nécessité d'entailler les épontes fournit alors une surabondance de stérile. Trop fréquemment aussi, même avec une puissance plus notable, l'irrégularité de composition, l'abondance de la gangue, la présence des nerfs, amènera le même résultat. Le remblai se trouvant alors à pied d'œuvre, si l'on renonçait à s'en servir, au lieu de réaliser par là une économie, on s'imposerait une dépense supplémentaire de roulage et d'extraction.

Lorsqu'un filon est à la fois puissant et homogène, il présentera souvent une valeur intrinsèque, par mètre cube, assez importante pour qu'il n'y ait pas d'hésitation possible à faire supporter au prix de revient l'accroissement qui résulte de l'introduction d'un remblai extérieur, en vue d'assurer le complet enlèvement du minerai. Ce ne sera donc que pour des circonstances particulières que l'on songera au foudroyage, et surtout à l'abandon de massifs.

553 — Le principe du remblayage une fois admis dans la grande majorité des cas, il restera à faire un choix parmi les méthodes si nombreuses auxquelles il sert de base. Tout d'abord, on s'appuiera sur la distinction fondamentale qui nous a servi pour leur classification, selon que le gîte est mince ou puissant (N° 492).

Si la puissance est faible, la composition en général irrégulière des filons exclut l'emploi des grandes tailles. L'ampleur de ces méthodes perdrait toute sa valeur dans ce dédale, et elle obligerait à enlever des parties inutiles. Il est au contraire ordinairement indispensable, pour connaître préalablement le gîte d'une manière suffisante, de l'embrasser tout d'abord par un traçage d'autant plus serré que l'irrégularité sera plus accusée. Il y a donc lieu de tenir compte, dans le choix de la méthode d'exploitation, de la nécessité de ce réseau.

La méthode des chambres comporterait deux manières d'être différentes, suivant que sa base d'opérations serait prise, dans ce traçage, en direction ou en inclinaison. Le premier mode serait ordinairement impraticable, à cause de la raideur du pendage, si

Digitized by Google

l'on ouvrait les chambres en montant[1]. Quant à les pratiquer en descendant, on ne pourrait voir dans cette conception qu'un pas rétrograde nous ramenant aux époques primitives de l'art du mineur, lorsque les anciens ne connaissaient, pour ainsi dire, pas d'autre manière d'attaquer un filon que d'y descendre par des ouvrages inclinés, très rapprochés les uns des autres.

Il n'en sera plus de même si l'on se rattache, au contraire, à une fendue, avec des chambres pratiquées en chassage. On retrouve alors, dans ces conditions, la méthode horizontale en long destinée aux faibles puissances (N° 536). Elle est en effet employée pour un certain nombre de filons, bien que d'un usage relativement peu fréquent.

Il ne reste, d'après cela, comme solution normale en ce qui concerne les filons minces, que la méthode des gradins. Quant au choix à faire entre les deux modes qu'elle comporte, il a été déjà l'objet d'une discussion attentive (chap. XX, § 5). Elle se résume en ce que les gradins droits ne sont employés que très exceptionnellement, tandis que les gradins renversés constituent la presque totalité des applications.

554 — Considérons, en second lieu, les filons puissants. La méthode inclinée y est presque toujours impraticable en raison de leur raideur[2]. La méthode verticale et le rabatage ne s'y recommandent pas d'une manière générale, bien qu'applicables à des cas particuliers dont j'ai cité des exemples. Il ne reste donc comme solution courante que la méthode horizontale. Ce ne sera pas, du reste, le cas de l'appliquer en long[3]. Ce mode perd en effet ici son principal intérêt, qui est, soit de passer au moyen d'étroites recoupes entre des nerfs réguliers, que l'on ne trouve pas aussi habituellement dans les filons que dans les couches ; soit de pouvoir conduire des chantiers en grandes tailles, combinaison que

(1) Cependant nous avons vu un exemple analogue pour les anthracites de Pennsylvanie (N° 434).

(2) Elle a figuré toutefois dans quelques quartiers de la mine d'étain de Montebras (Creuse).

(3) Sauf le cas de la faible puissance, pour lequel nous venons de la retrouver.

Digitized by Google

nous venons d'écarter. Finalement donc, il ne subsiste que la méthode en travers, sans oublier toutefois que celle des gradins renversés est extensible aux grandes puissances (N° 523).

Nous pouvons dire, d'après cela, pour résumer ce qui concerne les filons, qu'il n'existe pour eux que deux méthodes vraiment fondamentales : celle des gradins renversés, quelle que soit la puissance, et, dans les cas seulement où celle-ci devient notable, la méthode en travers. Il faut mentionner cependant, comme rendant quelques services dans les filons minces, la méthode horizontale en long ; et enfin reléguer dans des exceptions absolument rares, le système des gradins droits avec planchers[1], et la méthode verticale fondée sur le muraillement [2].

555 — *Amas.* — Nous avons reconnu (N° 534) qu'il n'existe, pour des amas d'une forme indéterminée, qu'une seule méthode d'exploitation : à savoir, la méthode horizontale. Il reste seulement à choisir à l'égard de sa mise en œuvre entre les trois principes fondamentaux, qui comportent tous l'emploi de tranches horizontales, à savoir : la méthode des estaus (N° 423), celle du foudroyage (N° 470), et celle du remblayage (N° 534). Mais cette discussion de l'appropriation des divers principes fondamentaux aux amas, ne diffère pas de celle à laquelle nous arrivons maintenant pour les couches.

§ 2

COUCHES — CHOIX DU PRINCIPE FONDAMENTAL

556 — *Abandon de massifs.* — La question est bientôt résolue en ce qui concerne le principe de l'abandon des massifs. Il se recommande, ainsi que nous l'avons dit, comme le plus propre à préserver la superficie. A la vérité, c'est sous la réserve d'une attention suffisante dans la détermination des massifs, condition beaucoup trop

(1) Andreasberg (N° 519).
(2) Almaden (N° 542).

Digitized by Google

négligée dans la pratique. On doit surtout blâmer, sous ce rapport, la tendance à venir reprendre, en les affaiblissant d'une manière téméraire, une partie des piliers laissés par d'anciens exploitants. Cette opération ne doit être effectuée en général que si l'on en arrive à transformer le principe lui-même, en se résignant à la chute du toit ou à l'emploi du remblai. Il devient parfois possible, à ce prix, d'effectuer une reprise totale, lorsqu'elle en vaut la peine.

Le second point de vue à considérer est celui de la valeur. Des matières pierreuses communes ne comportent presque jamais d'autre mode rémunérateur. Mais en dehors de ce cas, et de celui du sel gemme, en raison de son abondance et de sa solidité, il en existera peu où la valeur intrinsèque du minerai ne soit pas suffisante pour supporter l'emploi du foudroyage ou du remblayage.

557 — *Foudroyage.* — La question devient bien plus complexe quant au choix à faire entre ces deux derniers principes [1]. En ce qui concerne le foudroyage, on peut dire qu'il ne sera pas rationnel d'y avoir recours en dehors de certaines conditions précises, qu'il est facile d'énumérer.

En premier lieu : une puissance moyenne. Si elle était par trop réduite, le danger augmenterait par la difficulté qu'éprouverait le mineur à se mouvoir, pour échapper à l'écrasée. Si elle dépasse 3 mètres, et surtout 4 mètres, on doit en thèse générale écarter le foudroyage en une seule tranche, tout en admettant l'examen attentif de certains cas particuliers dont nous avons rencontré des exemples (N° 466).

L'inclinaison ne dépassera pas 20 à 25°, afin de ne pas compliquer le porte-à-faux du toit, en rendant plus dangereuse la chute des matériaux fragmentés.

Le plafond doit être solide, sans quoi le danger devient inadmissible. Il convient que la roche soit nettement détachée du combustible, afin que l'on ait le temps de déterminer la tombée de ce dernier et de le reculer avant l'effondrement du toit.

Le charbon ne doit être sujet ni à l'inflammation, ni aux déga-

[1] Cambessédès, Exploitation des veines minces, *Bull. min.*, 3e, IX, 529.

Digitized by Google

gements grisouteux; sans quoi le principe du foudroyage est absolument contre-indiqué [1].

Lorsque la profondeur est très grande, il est acceptable, et peut même devenir parfois préférable au remblayage, en ce qui concerne spécialement la conservation de la superficie, sous les réserves que nous avons faites ci-dessus (N° 445). Si la hauteur est trop faible, ce principe doit être rejeté, à moins que l'on ne se résigne au bouleversement complet de la surface, avec les conséquences qu'il entraîne.

En admettant que les conditions qui viennent d'être formulées se trouvent remplies, le foudroyage se recommande alors par de nombreux avantages : une production de gros plus marquée qu'après une série de petits tassements sur le remblai [2]; l'abatage facilité; peu de traçage, et par suite un rendement plus élevé du piqueur; une économie notable du prix de revient, malgré un supplément de paye mérité par l'ouvrier en raison du danger qu'il court.

558 — *Remblayage.* — Cependant ces avantages ne sont pas absolument décisifs, car on peut également y tendre avec des méthodes de remblayage judicieusement combinées. Il y a lieu principalement d'insister sur la distinction suivante : le foudroyage augmente le gaspillage, c'est-à-dire *la perte en matière sur le total du minerai renfermé dans le gîte;* le remblayage augmente la dépense, c'est-à-dire *la perte en argent sur le prix de revient de chaque tonne marchande.*

Si donc il s'agit d'un gîte assez limité, formé d'une substance de grande valeur, il n'y a pas à hésiter et le remblayage s'impose. Si au contraire la matière est plus commune, et en quantité pour ainsi dire inépuisable, au moins pendant une durée qui dépasse les préoccupations les plus sages, la perte matérielle perd son

[1] Ce qui ne l'empêche pas, néanmoins, d'être souvent appliqué en Angleterre dans de semblables conditions.

[2] C'est au point que l'on se trouve parfois obligé de refendre après coup les morceaux, surtout dans les mines de fer, afin de pouvoir manier plus facilement ces fragments, et en outre de ne pas risquer de défoncer par leur chute les véhicules.

Digitized by Google

intérêt devant le bénéfice à réaliser sur la vente de la tonne, et le foudroyage reprend ses avantages.

Il convient encore de remarquer, avec Callon, que la valeur de ces considérations déterminantes se modifie dans une certaine mesure, selon qu'il s'agit soit d'une Compagnie-propriétaire, ou de valeurs de portefeuille à peu près immobilisées dans les mêmes mains, soit au contraire d'une Société amodiataire, qui n'a qu'un temps pour jouir, d'après les conventions acceptées de part et d'autre, ou de titres de spéculation pour lesquels on est pressé de réaliser des bénéfices, en vue d'en provoquer la hausse et de les écouler sur le marché. Est-il nécessaire d'ajouter que cette dernière hypothèse touche à des tendances dangereuses, capables d'amener la ruine complète de la mine, ou d'apporter du moins de graves entraves pour son avenir?

559 — Les considérations précédentes peuvent se préciser davantage [1]. Appelons à cet effet g et g' le gaspillage proportionnel, suivant que l'on emploie, ou non, le remblai; r les frais de remblayage par tonne de houille; b le bénéfice réalisé avec ce mode d'exploitation sur le prix de vente, d'après l'état du marché. Puisque l'on retire d'un poids P du gîte en place le tonnage $P(1-g)$ à l'aide du remblayage, on réalisera, de ce chef, le bénéfice $Pb(1-g)$. Avec le foudroyage, on n'obtient que la quantité $P(1-g')$; mais le bénéfice par tonne n'est plus seulement b, il s'y ajoute la suppression des frais de remblayage r. Ce bénéfice devient d'après cela pour chaque tonne $b+r$, et pour l'ensemble $P(b+r)(1-g')$. Il y aura donc avantage à remblayer si l'on a :

$$P\,b\,(1-g) > P\,(b+r)\,(1-g'),$$

d'où nous tirons :

$$b > \frac{1-g'}{g'-g}\,r.$$

Pour prendre un exemple, je me servirai d'observations faites

[1] Amiot (*Annales*, 7e, IV, 139).

Digitized by Google

à Montceau-les-Mines, où l'on perdait 30 % avec le foudroyage, tandis que le rabatage a réduit cette perte à 12 %, et la méthode horizontale à 5 % (N° 545, note). Si nous admettons, en outre, la valeur de 1 franc pour le prix du remblai par tonne de houille (N° 489), la formule précédente deviendra :

$$b > \frac{1 - 0,30}{0,30 - 0,05} 1^f,$$

c'est-à-dire :

$$b > 2^f,80.$$

Il suffit donc, dans ces conditions, de gagner par tonne au moins 2 fr. 80 avec le remblayage, et par suite 3 fr. 80 à l'aide du foudroyage, pour que ce dernier mode doive céder la place à l'emploi du remblai, en vue de réaliser le plus grand avantage total.

Or on trouve dans le rapport général de M. de Ruolz sur la question des houilles [1], les moyennes suivantes, relatives à l'année 1865, et évaluées sur le carreau de la mine [2] :

	France.	Angleterre.
Prix de vente	13f,79	9f,25
Prix de revient.	9f,37	7f,30
Bénéfice.	4f,42	1f,95

Leur comparaison avec le chiffre précédent expliquerait ainsi d'une manière rationnelle pour cette époque, déjà éloignée du reste [3],

(1) Tome III, 3.

(2) La moyenne générale du prix de vente sur le marché de Londres était, dans la même année, de 30 fr. 55, y compris 8 fr. 95 pour les droits et frais accessoires ; et de 36 fr. 21 sur celui de Paris, en y comprenant le droit d'octroi de 7 fr. 20.

(3) En 1893 le prix de vente moyen n'a été en France que de 11 fr. 49 et en 1894 de 11 fr. 22. Le prix de revient moyen n'a d'autre part guère diminué depuis 1865. Il est permis d'ailleurs de croire que le maintien du foudroyage en Angleterre tient pour beaucoup à une moindre préoccupation d'augmenter la sécurité et de réduire le gaspillage, qu'en France ou en Belgique.

Digitized by Google

la surabondance des exploitations par foudroyage en Angleterre, et leur rareté relative en France [1].

§ 3

COUCHES — CHOIX DE LA MÉTHODE D'EXPLOITATION

560 — *Foudroyage.* — Le principe fondamental une fois fixé, il reste à préciser la méthode d'exploitation. Supposons, en premier lieu, que l'on se soit déterminé en faveur du foudroyage. On se trouvera immédiatement circonscrit, d'après la puissance du gisement, dans l'une ou l'autre des deux catégories de méthodes relatives aux gîtes minces ou aux gîtes puissants (N° 452).

Pour les couches minces, on tend beaucoup, en vue d'éviter les inconvénients du traçage, à développer l'emploi relativement récent du longwall.

Si néanmoins on adopte une méthode de dépilage, la même préoccupation devra faire préférer les massifs longs aux massifs courts. Ces derniers, en raison de la prépondérance du traçage, des frais d'entretien, et de la complication de l'aérage, devront être écartés, sauf le cas spécial de l'absence complète de grisou, et d'une solidité exceptionnelle de la masse et du toit : conditions ordinairement réalisées par les minerais de fer. Ce traçage surabondant présente, il est vrai, l'avantage de procurer pendant longtemps des produits à proximité du puits.

[1] Le rapport de M. Harzé, inspecteur général des mines de Belgique, indique pour l'ensemble de ce pays les moyennes suivantes :

	1893	1894
Prix de revient.	9 fr. 02	8 fr. 92
Prix de vente.	9 75	9 69
Bénéfice. . . .	0 fr. 73	0 fr. 77

Le résultat semblerait donc inverse de celui de la comparaison entre la France et l'Angleterre ; mais cet ordre de considérations est primé, pour la Belgique, par la nature de sa formation houillère, composée en général de veines minces, tourmentées et grisouteuses, ce qui exclut *a priori* l'application du foudroyage dans la plupart des cas.

Digitized by Google

L'on s'en tiendra donc en général aux massifs longs, et il sera bon de pratiquer des galeries aussi spacieuses que le comporte la solidité du gisement, tout en gardant des piliers largement suffisants pour ne pas se trouver fatigués par la durée de l'exploitation. Ces conditions ne sont d'ailleurs nullement opposées l'une à l'autre. Quant au système qu'il conviendra d'adopter à l'égard du dépilage, on peut faire remarquer que le mode en travers est inadmissible pour les gîtes grisouteux s'il est montant, et dans les mines aquifères s'il est descendant. Le dépilage en long échappe à ce double inconvénient. Mais il suppose, d'après la largeur de la taille, qui est la relevée même du pilier, une tenue meilleure de la masse que celle qui pourra suffire avec les enlevures en travers, dont la largeur reste arbitraire.

Quant aux couches puissantes, le choix entre la méthode inclinée et la méthode horizontale dépendra surtout de la raideur du gîte, la première n'admettant que des inclinaisons modérées. Les tranches présenteront d'ailleurs dans ces types d'exploitation plus de hauteur qu'avec le remblayage.

561 — *Remblayage.* — Supposons maintenant que l'on se soit arrêté au principe du remblayage. On commencera encore par circonscrire la question d'après l'épaisseur du gisement (N° 492).

Avec les gîtes les plus minces, la méthode des grandes tailles s'impose, afin d'utiliser le remblai à pied d'œuvre. Nous avons du reste présenté la discussion de ses divers modes d'application (chap. XX, § 3), avec des détails qui nous dispensent d'y revenir en ce moment. La méthode des chambres se recommande pour les puissances moyennes, et aussi les solidités moyennes. Quant à la méthode des gradins, elle ne constituera dans les gîtes sédimentaires qu'une exception, qui peut être motivée par la raideur du plongement. Même alors, on emploie presque toujours le dispositif des maintenages (N° 507), qui concilie, avec le rôle protecteur des décrochements en gradins renversés, les facilités que fournit au roulage de masses importantes l'aménagement général propre à la méthode chassante.

Arrivant aux grandes puissances, nous mentionnerons à part, et

Digitized by Google

tout à fait à titre d'exception, la méthode verticale, décisive pour les charbons les plus inflammables, mais contre-indiquée en dehors de cette circonstance spéciale. Le rabatage constitue également un cas devenu fort rare. Il exige un charbon particulièrement solide, l'absence de grisou, un bon remblai, enfin une traversée importante si l'on veut appliquer le mode en travers.

La solution vraiment normale pour les couches puissantes consiste dans l'emploi de l'une des deux méthodes : inclinée ou horizontale. La première est excellente avec les puissances et les inclinaisons moyennes. Elle est particulièrement recommandable dans les couches barrées par des nerfs bien caractérisés, assez importants pour être réservés sous forme d'entre-deux, ou abattus distinctement de manière à faciliter le triage.

En dehors de ces conditions, on préférera la méthode horizontale. Le mode en long pourra être adopté, si la solidité du charbon et du toit le permet. Conduite en taille unique, elle admet, à l'inverse de la méthode en travers, l'aérage continu, et le roulage distinct pour les terres et pour le charbon. Appliquée avec des recoupes contiguës, elle se prête au passage entre les nerfs, que la méthode en travers hacherait complètement, au grand détriment de la pureté du combustible.

§ 4

DONNÉES NUMÉRIQUES

562 — Les comparaisons précédentes se maintiennent jusqu'à un certain point dans le vague. Mais cette indécision est dans la nature même des choses, tant que l'on reste dans les généralités. Elle ne peut disparaître complètement que lorsque l'on se trouve, pour chaque cas, en face de données numériques précises. L'appropriation exacte d'une méthode d'exploitation à des circonstances définies dépend en effet de bien des éléments. On devra s'y préoccuper à la fois de la puissance et de l'inclinaison; de la régularité des nerfs, du mode de répartition de la richesse; de la soli-

Digitized by Google

dité des épontes, de celle du minerai, de ses clivages; de la présence et de l'abondance du grisou, de l'inflammabilité du combustible; de la nature du remblai; du prix et des dimensions des bois disponibles dans la contrée; du taux des salaires, des habitudes de la population ouvrière; des moyens de transport, de l'étendue du marché accessible, de son activité commerciale, etc.

Pour faciliter les comparaisons, je placerai ici un double tableau (pages 651 et 652) relatif à un ensemble, à la fois assez large et assez homogène, de couches puissantes de combustible [1]. Les trois colonnes qui définissent le gîte se rapportent à la partie spéciale de ce gisement qui a fourni les autres données. Le rendement absolu du piqueur au dépilage (page 652) est présenté dans les conditions mêmes de la réalité. La colonne qui le suit est évaluée théoriquement, de manière à rendre ces résultats plus comparables en supposant uniformément que le piqueur fasse l'abatage et le boisage. Parfois en effet il effectue en outre le chargement, ou le remblayage; ou bien, au contraire, il se trouve dégagé du soutènement par des boiseurs spéciaux. Les deux colonnes relatives à la production en tonnes sont destinées à comparer l'activité journalière des diverses méthodes, en les ramenant toutes, par la pensée, à un champ uniforme de 500 mètres de longueur, sur la relevée qui se trouve indiquée dans chaque cas pour l'étage, ou, en second lieu, d'une manière plus exactement comparable encore, en réduisant au mètre carré par an.

[1] Dressé à l'aide de celui qui a été inséré par M. l'ingénieur en chef des mines Amiot, dans son important mémoire sur les houillères puissantes du centre et du midi de la France (*Annales*, 7e, IV, 162).

Digitized by Google

MÉTHODES	DÉSIGNATION			DIMENSIONS DU GITE			HAUTEUR DES ÉTAGES (mètres)	PROPORTION DE L'ABATAGE		PROPORTION DES SORTES	
	MINE	QUARTIER	COUCHE	INCLINAISON	PUISSANCE (mètres)	TRAVERSÉE (mètres)		TRAÇAGE	DÉPILAGE	GROS	MENU
FOUDROYAGE	La Mure.	»	Trois-Bancs	0,25	3,00	12,50	25,0	0,085	0,915	0,80	0,20
	Montceau	Lucy	»	0,30	12,00	40,00	33,0	0,047	0,953	»	»
MÉTHODE INCLINÉE	Cransac.	Le Fraysse	Petite couche	0,34	4,00	12,00	7,0	0,100	0,900	0,27	0,73
	Épinac	Fontaine Bonnard	»	0,66	8,00	15,00	10,0	0,160	0,840	0,20	0,80
	Firminy.	Monterrad	N° 2	0,52	8,00	21,00	7,0	0,184	0,816	0,08	0,92
	La Grand'Combe. .	Ravin	»	0,13	6,00	52,00	62,0	0,090	0,910	0,60	0,40
	La Péronnière. .	Sainte-Camille	»	0,20	10,00	58,00	2,5	0,140	0,860	»	»
	Montrambert. . . .	Devillaine	»	0,60	12,00	24,00	25,0	0,053	0,947	0,05	0,95
MÉTHODE HORIZONTALE	Campagnac	»	»	0,25	7,50	30,80	2,5	0,224	0,776	»	»
	Commentry	»	»	0,14	12,00	90,00	20,0	0,042	0,958	0,10	0,90
	Cransac.	Le Fraysse	Couche du toit	0,34	7,00	21,00	6,0	0,128	0,872	0,27	0,73
	Cransac.	Le Fraysse	Grande couche	0,34	20,00	60,00	6,0	0,073	0,927	0,27	0,73
	Decazeville	Bourran	»	0,11	32,00	150,00	2,5	0,288	0,712	0,45	0,55
	La Béraudière. . .	Crêt de Mars	»	1,00	34,00	48,00	14,0	0,040	0,960	0,35	0,65
	La Béraudière. . .	Dyèvre	»	1,00	48,00	48,00	14,0	0,040	0,960	0,07	0,93
	Le Creuzot	»	»	1,00	22,00	22,00	20,0	0,478	0,522	0,18	0,82
	Montceau	Sainte-Élisabeth	»	»	13,00	100,00	15,0	0,098	0,902	»	»
	Montceau	Sainte-Marie	»	0,25	13,00	50,00	16,0	0,155	0,845	0,52	0,48
	Saint-Éloy.	»	»	0,60	29,00	30,00	15,0	0,294	0,706	0,50	0,50
MÉTHODE VERTICALE	Decazeville.	Bourran	»	0,11	32,00	150,00	6,0	0,304	0,696	0,45	0,55
	La Grand'Combe. .	Fournier	»	1,00	17,00	23,00	10,0	0,290	0,710	0,05	0,95
RABATAGE	Bézenet.	»	»	1,00	17,50	24,00	24,0	0,065	0,935	0,50	0,50
	Cransac.	La Balance	»	0,23	32,00	150,00	4,5	0,092	0,908	0,45	0,55
	Cransac.	Le Fraysse	Bifurcation	0,34	4,00	12,00	7,0	0,136	0,864	0,27	0,73
	La Mure	»	Grande couche	0,90	13,00	13,20	28,0	0,036	0,964	0,80	0,20
	Montceau	Sainte-Élisabeth	»	0,25	15,00	60,00	14,0	0,116	0,884	0,47	0,53

Digitized by Google

MÉTHODES	DÉSIGNATION			RENDEMENT JOURNALIER DU PIQUEUR (tonnes)			PRODUCTION (tonnes)		LONGUEUR TOTALE des fronts de taille (mètres)	SURFACE DE CHAMP par piqueur (mètres carrés)	DURÉE DU DÉHOUILLEMENT	
	MINE	QUARTIER	COUCHE	TRAÇAGE	DÉPILAGE	MOYENNE corrigée	quotidienne d'un champ de 500 m. en direction	annuelle du mètre carré de champ			d'une TRANCHE (jours)	d'un ÉTAGE (années)
FOUDROYAGE	La Mure.	»	Trois-Bancs	0,9	2,7	2,6	110	»	350.0	»	»	1,35
	Montceau	Lucy	»	2,0	8,3	8,0	830	4,98	450,0	555	»	1,87
MÉTHODE INCLINÉE	Cransac.	Le Fraysse	Petite couche	1,4	2,6	2,7	125	3,75	62,5	200	260	0,71
	Épinac	Fontaine Bonnard	»	1,8	3,6	2,3	400	16,00	362,5	67	57	0,46
	Firminy.	Monterrad	N° 2	5,0	5,2	4,0	425	17,00	98,0	89	34	0,37
	La Grand'Combe . .	Ravin	»	2,9	3,8	3,7	400	1,91	2016,0	578	»	4,50
	La Péronnière . . .	Sainte-Camille	»	»	»	»	200	12,00	62,5	200	60	0,65
	Montrambert. . . .	Devillaine	»	3,0	8,2	6,3	890	10,70	776,0	231	»	0,81
MÉTHODE HORIZONTALE	Campagnac	»	»	2,6	4,1	4,6	85	2,55	50,0	400	228	0,62
	Commentry	»	»	2,6	5,8	7,3	232	1,60	90,0	1125	405	11,00
	Cransac.	Le Fraysse	Couche du toit	1,2	2,0	2,7	131	3,90	125,0	200	489	1,33
	Cransac.	Le Fraysse	Grande couche	1,2	2,6	3,3	179	1,78	200,0	450	1460	4,00
	Decazeville.	Bourran	»	1,4	2,2	1,9	216	2,16	100,0	300	394	1,79
	La Béraudière . . .	Crêt-de-Mars	»	2,6	7,0	4,8	1750	21,00	1000,0	100	35	0,48
	La Béraudière . . .	Dyèvre	»	2,6	8,7	6,6	437	5,30	200,0	500	140	2,00
	Le Creuzot, ...	»	»	4,0	4,2	3,5	175	3,75	88,0	320	112	3,00
	Montceau	Sainte-Élisabeth	»	1,5	2,9	2,3	576	3,46	600,0	250	237	5,00
	Montceau	Sainte-Marie	»	1,7	3,0	2,8	388	2,90	364,0	317	248	5,00
	Saint-Éloy.	»	»	1,4	3,0	2,0	675	13,50	450,0	66	38	0,62
MÉTHODE VERTICALE	Decazeville.	Bourran	»	1,4	2,5	2,2	109	1,05	100,0	620	1642	4,50
	La Grand'Combe . .	Fournier	»	1,7	2,7	3,0	175	1,10	134,0	708	»	18.00
RABATAGE	Bézenet.	La Balance	»	1,8	6,6	6,3	430	10,30	100,0	190	500	6,00
	Cransac.	Le Fraysse	»	1,4	1,7	1,9	340	2,50	100,0	400	637	1,74
	Cransac.	»	Bifurcation	1,4	2,6	2,5	310	9,30	144,0	70	»	0,31
	La Mure.	»	Grande couche	0,7	1,6	1,5	16	»	12,5	»	»	8,50
	Montceau	Sainte-Élisabeth	»	1,9	4,0	3,6	267	2,67	132,0	227	373	4,00

Digitized by Google

§ 5

RENDEMENT DU PIQUEUR

563 — L'un des éléments statistiques les plus essentiels pour l'appréciation effective d'une méthode d'exploitation est le *rendement* du piqueur, c'est-à-dire le rapport du tonnage effectif de l'extraction à la population ouvrière. Le tableau précédent en présente déjà un assez grand nombre d'exemples, dont quelques-uns sont remarquables par leur valeur exceptionnellement élevée.

Il est extrêmement important de toujours préciser avec soin à cet égard si l'on rapporte la production totale au nombre des piqueurs à la veine, ou à la totalité de la population du fond, ou enfin à l'ensemble du personnel du jour et du fond. Les exemples suivants sont de nature à montrer quelles différences peut provoquer cette distinction (1). Ils représentent le rendement *en tonnes par jour* (2).

MINES	RENDEMENT		
	PAR PIQUEUR AU CHARBON	PAR OUVRIER DU FOND	PAR PERSONNE DU FOND ET DU JOUR
Bessèges (1871), ...	1,593	1,194	0,800
Lens (1882)	3,690	1,190	1,600
Bassin de la Loire (1866)	3,767	1,016	0,759
Seaton Delaval (Newcastle). . . .	3,500	2,500	1,200
Bassin de Charleroi (1893). . . .	3,700	0,930	0,650

Pour étendre ces comparaisons, j'indiquerai encore pour les

(1) Pernolet, agenda-Dunod, 1882, p. 160 ; et renseignements inédits.

(2) Ces chiffres sont relatifs à la houille. En ce qui concerne le minerai de fer, les rendements varient dans des proportions considérables suivant la nature du minerai et les conditions d'exploitation. En 1893, dans les mines de fer de Meurthe-et-Moselle (minerai hydroxydé oolithique), on a obtenu un rendement journalier de 3t,32 par ouvrier du fond, et de 2t,76 pour la totalité du personnel ; la même année, dans les mines de l'Isère (minerai spathique), les moyennes correspondantes ont été respectivement de 0t,81 et 0t,60.

Digitized by Google

mines de houille les chiffres suivants, rapportés au personnel total du fond et du jour, et exprimés *en tonnes par an*.

Bassin du Nord (1894)	238,4	
Bassin du Pas-de-Calais (1894)	237,7	
Bassin de Saint-Étienne (1894)	200,4	
Bassin d'Alais (1894)	162,7	
Ensemble de la France (1894)		204,9
Bassin du Couchant de Mons (1894)	152,0	
Bassin du Centre belge (1894)	182,0	
Bassin de Charleroi (1894)	188,0	
Bassin de Liège (1894)	177,0	
Ensemble de la Belgique (1894)		175,0
Bassin de la Haute Silésie (1888)	344,8	
Ensemble de la Prusse (1888)		245,6
Ensemble de la Grande-Bretagne (1888)		317,6
Ensemble des États-Unis (1891)		574,0

On remarquera l'énorme disproportion des premiers chiffres avec ceux qui sont relatifs à l'Angleterre, et surtout aux États-Unis. Cet écart tient principalement à l'extrême différence des conditions d'exploitation que nous avons déjà fait ressortir à l'occasion du premier de ces deux pays (N° 411). En outre le rendement des ouvriers anglais et américains se trouve majoré, pour une part notable, par l'habitude constante de ne pas tenir compte, dans cette évaluation, des chevaux employés au roulage en nombre beaucoup plus considérable que sur le continent européen, où ils sont remplacés en grande partie par des herscheurs. L'usage des machines, tant pour l'abatage que dans le transport des charbons, influe aussi, surtout en Amérique, pour majorer considérablement la production moyenne par homme.

Le rendement a subi un accroissement notable depuis un demi-siècle en raison du perfectionnement des méthodes et de l'outillage. Il n'était en Belgique que de 85 tonnes pendant la période quinquen-

Digitized by Google

nale 1831-1835 ; en cinquante années, il s'est élevé à 175 tonnes par an, chiffre atteint dans la période 1881-1890.

564 — Si l'on combine les chiffres précédents avec les productions absolues de chaque région (N° 567), on peut admettre comme une moyenne assez convenable du rendement annuel de l'ouvrier des houillères, le chiffre de 270 tonnes. En supposant 300 journées de travail par an, la production journalière sera de 900 kilogrammes, et, avec des journées de 10 heures, le rendement sera de 90 kilogrammes à l'heure.

Or une machine à vapeur consomme par heure, pour entretenir une force de cheval, moins d'un kilogramme de houille dans des conditions d'économie exceptionnelle ; ou au contraire plus de 10 kilogrammes, quand on sacrifie l'économie pour obtenir la simplicité et l'efficacité à tout prix. La pratique la plus courante reste comprise entre 2 et 4 kilogrammes. Si nous acceptons une moyenne de 3 kilogrammes, elle montre que le mineur fournit une quantité de combustible capable d'entretenir, pendant la même durée, une force de 30 chevaux. Comme, d'ailleurs, on admet que la capacité dynamique d'un manœuvre est au plus d'un dixième de cheval-vapeur, on voit que le travail du mineur se répand dans les diverses industries par un équivalent égal à la puissance de 300 hommes.

La disproportion serait bien plus accusée encore, si l'on prenait pour base de cette appréciation le seul piqueur du fond, et non pas le chiffre rapporté au personnel entier du fond et de la surface. Mais, en revanche, il importe de remarquer que cet aperçu ne concerne que la force brute, sans tenir compte ni des capitaux engagés, ni de la population nécessaire pour le transport de ce combustible sur le lieu de consommation, sa mise en œuvre, les relations commerciales, etc. Il suffit, à cet égard, d'avoir fait ressortir, par un chiffre qui n'a pas besoin d'acquérir ici plus de précision, l'extrême fécondité de cette forme du travail de l'homme.

Digitized by Google

§ 6

PRODUCTION TOTALE ANNUELLE

565 — *Production de la France.* — La production totale annuelle des diverses régions de la France est résumée pour l'année 1892 par le tableau de la page suivante [1], dans lequel on a distingué les diverses régions naturelles de l'exploitation des combustibles minéraux, en groupant d'un côté la houille et l'anthracite, de l'autre les lignites.

Indépendamment de cette production, la France a importé pendant la même année les nombres de tonnes suivants :

Belgique	4 807 000
Angleterre	4 897 000
Allemagne	1 820 000
Pays divers	33 000
TOTAL *de l'importation*	11 557 000

En revanche, elle a exporté les quantités suivantes de charbon :

Belgique	333 000
Suisse	238 000
Espagne	128 000
Italie	102 000
Allemagne	35 000
Algérie et colonies françaises	31 000
Pays divers	28 000
TOTAL *de l'exportation*	895 000

L'excès de l'importation sur l'exportation est donc de 10 662 000 tonnes. En l'ajoutant au chiffre de la production

[1] Statistique de l'industrie minérale pour 1892. — En 1895, cette production s'est élevée à 28 236 039 tonnes, dont 434 763 tonnes de lignite.

Digitized by Google

RÉGIONS	PRODUCTION	PRIX MOYEN DE VENTE	NOMBRE D'OUVRIERS	NOMBRE DE CONCESSIONS exploitées
	tonnes	francs		
Houille et Anthracite.				
Nord et Pas-de-Calais.	14 438 863	11,85	63 198	33
Loire	3 543 121	14,73	17 935	47
Gard	2 060 923	12,76	12 973	21
Bourgogne et Nivernais.	1 946 124	11,76	12 039	19
Tarn et Aveyron	1 311 091	11,85	8 507	21
Bourbonnais.	1 105 739	13,04	5 605	13
Auvergne	334 267	12,92	2 159	11
Hérault	209 827	14,31	1 928	6
Vosges méridionales	208 088	17,22	1 357	2
Creuse et Corrèze	207 578	10,91	1 411	6
Alpes occidentales	175 586	13,81	1 577	59
Ouest.	156 026	14,07	1 427	12
Totaux et moyennes pour la Houille et l'Anthracite. . . .	*25 697 233*	*12,46*	*130 116*	*250*
Lignite.				
Provence	435 697	9,30	2 674	21
Comtat	27 055	7,68	137	10
Vosges méridionales	10 555	11,85	153	3
Sud-Ouest	6 633	11,54	78	10
Haut-Rhône	1 528	12,52	35	4
Totaux et moyennes pour le Lignite	*481 468*	*9,31*	*3 077*	*48*
TOTAUX ET MOYENNES POUR L'ENSEMBLE DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX.	**26 178 701**	**12,40**	**133 193**	**298**

Digitized by Google

26 179 000, et en tenant compte de ce que, sur ce dernier, 325 000 tonnes ont été mises en stock sur le carreau des mines, on obtient pour la consommation totale 36 516 000 tonnes. La production indigène n'alimente par suite cette consommation que dans la proportion de 71,7 %; la France restant, pour le surplus, tributaire de l'étranger.

Encore est-il nécessaire de faire remarquer que sur ce total, les mines de toutes natures brûlent pour leur propre compte, ou distribuent à leurs ouvriers, 2 234 000 tonnes de charbon, ce qui réduit d'autant la production utile, et donne, pour la quantité effectivement versée dans les autres industries : 23 945 000 tonnes.

636 concessions de combustibles minéraux figurent nominalement dans la richesse minérale de la France, où elles occupent 5576 kilomètres carrés. Mais 298 seulement, c'est-à-dire 47 %, ont été en activité pendant l'année 1892, pour fournir la production précédente.

359 puits d'extraction ont fonctionné activement ; 43 autres se trouvaient en fonçage.

2336 machines à vapeur, représentant une force totale de 129 307 chevaux, ont été employées à cette extraction.

566 — A côté de la production nationale en combustible, se placent d'autres branches de l'industrie extractive. On peut les résumer dans le tableau de la page suivante.

La statistique officielle a établi que sur 481 concessions de toutes natures exploitées en 1892, tant en France qu'en Algérie, 233 soldant leur budget en bénéfice ont présenté un revenu net imposable de 53 173 000 francs ; et 248 reconnues en déficit, ont accusé une perte de 10 658 000 francs. Dans ce dernier chiffre figurent à la vérité beaucoup de travaux préparatoires destinés à féconder l'avenir. Si cependant on le défalque du premier, on voit que le bénéfice d'ensemble se solderait par 42 millions et demi de francs pour l'industrie minière nationale.

Digitized by Google

SUBSTANCES	PRODUCTION EN MILLIERS DE TONNES	VALEUR EN MILLIERS DE FRANCS	NOMBRE DES EXPLOITATIONS	NOMBRE TOTAL D'OUVRIERS
FRANCE				
Combustibles minéraux	26 179	324 677	298	133 200
Tourbe	168	1 971	576	?
Substances bitumineuses	224	1 678	22	900
Minerais de fer	3 707	12 581	175	6 830
Pyrite de fer et soufre	238	2 968	7	690
Minerais métalliques	129	10 787	65	6 280
Sel gemme (1)	510	8 778	35	340
Total pour la France	*31 155*	*363 440*	*1 178*	*148 240*
ALGÉRIE				
Minerais de fer	453	4 036	7	2 000
Minerais métalliques	31	1 656	15	1 560
Sel gemme (1)	1	29	5	?
Total pour l'Algérie	*485*	*5 721*	*27*	*3 560*
TOTAL GÉNÉRAL	**31 640**	**369 161**	**1 205**	**151 800**

(1) Il convient d'ajouter, pour les marais salants des côtes de France, 464 milliers de tonnes de sel marin, valant 7 990 000 francs, et occupant 10 140 ouvriers saulniers répartis entre 4 100 exploitations; et pour les lacs salés d'Algérie, 24 000 tonnes, valant 490 000 francs, en 10 exploitations.

567 — *Production du monde entier.* — Les données analogues relatives à la production du monde entier sont présentées dans le tableau suivant, qui résume les résultats *connus* (2).

(2) Tableau dressé en majeure partie d'après la statistique minérale de 1892, p. 231. — Les totaux pour le monde entier ont été indiqués *en italique*, lorsqu'ils sont notoirement incomplets.

Digitized by Google

RÉGIONS	ANNÉES	COMBUSTIBLES MINÉRAUX		PÉTROLE, BITUME		MINERAIS DE FER		MINERAIS DE PLOMB		MINERAIS DE CUIVRE	
		PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX
		tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs
Grande-Bretagne . . .	1892	184 700 000	9,00	2 123 200	6,20	11 494 000	6,52	41 000	184	6 000	49
États-Unis	1892	155 871 000	6,55	7 653 000	20,65	14 825 000	?	?	?	?	?
Allemagne	1892	92 545 000	7,75	67 500	23,70	8 169 000	5,25	148 400	122	557 800	44
Autriche-Hongrie . . .	1892	28 700 000	6,30	88 100	87,10	1 785 000	5,86	103 800	51	11 500	82
France et Algérie . .	1892	26 179 000	12,40	224 000	7,48	4 159 000	4,00	22 050	155	8 350	27
Belgique et Luxembourg	1892	19 583 000	10,28	»	»	3 580 000	2,52	60	136	»	»
Russie	1892	6 922 000	?	4 894 000	?	1 958 000	?	?	?	?	?
Océanie.	1892	4 861 000	10,40	75 400	45,50	»	»	95 100	?	11 300	121
Canada.	1892	3 036 000	12,53	100 000	50,90	94 000	14,00	?	?	?	?
Japon	1890	2 608 000	10,15	6 700	140,00	»	»	»	»	»	»
Espagne	1891	1 288 000	8,40	80	11,10	5 680 000	5,00	363 000	77	2 478 000	5
Suède et Norwège . . .	1892	382 000	?	»	»	1 293 400	?	20 000	?	42 800	?
Italie	1892	296 000	7,20	37 150	43,00	219 000	12,81	33 300	171	102 000	27
Portugal	1892	18 000	15,40	»	»	1 600	5,60	1 100	132	182 000	13
Grèce.	1892	12 000	10,50	»	»	244 000	?	1 200	?	»	»
Pays divers.	1892	3 058 000	»	146 100	»	?	?	?	?	65 000	»
TOTAUX DES RÉSULTATS CONNUS.	»	530 059 000	»	15 430 215	»	*53 502 000*	»	*829 010*	»	*3 464 750*	»

Digitized by Google

RÉGIONS	ANNÉES	MINERAIS DE ZINC		PYRITE ET SOUFRE		MINERAIS D'ÉTAIN		MINERAIS DE MANGANÈSE	
		PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX
		tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs
Grande-Bretagne	1892	27 000	96	14 000	12,36	14 600	1273	6 000	18
États-Unis	1892	142 000	128	109 700	19,40	»	»	17 300	51
Allemagne	1892	800 500	32	114 800	11,14	63	1450	32 900	19
Autriche-Hongrie	1892	34 000	42	58 900	13,46	33	217	6 000	25
France et Algérie	1892	91 000	78	237 200	12,51	11	1500	32 400	32
Belgique et Luxembourg	1892	12 300	80	2 600	10,65	»	»	16 800	12
Russie	1892	?	?	17 400	?	»	»	199 000	?
Océanie	1892	»	»	»	»	?	?	1 300	56
Canada	1892	»	»	54 000	17,20	»	»	100	130
Japon	1890	»	»	26 600	48,55	»	»	2 570	15
Espagne	1891	62 000	37	202 200	15,54	51	521	200	15
Suède et Norwège	1892	58 900	?	60 200	?	»	»	8 000	?
Italie	1892	130 000	105	447 000	88,55	»	»	1 240	34
Portugal	1892	»	»	»	»	»	»	3 400	36
Grèce	1892	2 400	?	1 500	?	»	»	»	»
Pays divers	1892	»	»	36 000	»	?	?	36 000	»
TOTAUX DES RÉSULTATS CONNUS	»	*1 360 100*	»	1 382 100	»	*14 758*	»	364 210	»

Digitized by Google

RÉGIONS	ANNÉES	MINERAIS D'ANTIMOINE		MINERAIS D'OR ET D'ARGENT		MINERAIS DE NICKEL, COBALT, MERCURE, PLATINE, ARSENIC, ETC.		SEL GEMME ET SEL MARIN	
		PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX	PRODUCTION	PRIX
		tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs	tonnes	francs
Grande-Bretagne	1892	6	412	10 150	23	17 300	»	1 988 000	10,93
États-Unis	1892	?	?	?	?	90 900	»	1 472 000	20,69
Allemagne	1892	»	»	17 500	256	9 380	»	1 166 000	17,60
Autriche-Hongrie	1892	320	403	25 460	318	103 440	»	445 000	?
France et Algérie	1892	5 150	133	»	»	23 480	»	999 000	17,30
Belgique et Luxembourg	1892	»	»	»	»	»	»	»	»
Russie	1892	»	»	23 317 000	?	1 338 080	»	1 362 000	12,00
Océanie	1892	1 440	393	?	?	210	»	6 500	26 66
Canada	1892	»	»	?	?	150	»	41 300	20,35
Japon	1890	»	»	»	»	4 500	»	»	»
Espagne	1891	860	71	15 000	17	32 200	»	140 000	10,66
Suède et Norwège	1892	»	»	4 800	?	8 460	»	»	»
Italie	1892	620	367	8 300	265	28 000	»	419 000	10,60
Portugal	1892	1 000	419	»	»	»	»	»	»
Grèce	1892	»	»	»	»	»	»	22 000	?
Pays divers	1892	»	»	?	?	22 000	»	986 000	10,00
TOTAUX DES RÉSULTATS CONNUS.	»	*9 396*	»	*23 398 210*	»	1 078 100	»	9 046 800	»

Digitized by Google

568 — La production suit, avec le temps, une progression excessivement accentuée. On en peut juger, en ce qui concerne la France, par le tableau suivant qui comprend dix périodes décennales :

1789	240 000
1802	844 180
1811	773 694
1820	1 093 658
1830	1 862 665
1840	3 003 382
1850	4 433 567
1860	8 309 622
1870	13 330 308
1880	19 361 564
1890	26 083 118
1895	28 236 039

Cette marche progressive a été marquée de même en Angleterre, dont la production a passé, de 80 043 000 tonnes pour 1860, à 133 306 000 tonnes en 1875, et à 191 290 000 en 1894. Elle y a déterminé, il y a quinze ou vingt ans, une sorte de panique relativement à la durée probable des houillères, menées d'un pas aussi rapide vers leur épuisement. Des appréciations pessimistes qui rapprochaient ce terme jusqu'à un, deux ou trois siècles, étaient visiblement empreintes de la plus grande exagération. D'autres calculs qui reportaient le terme dans un éloignement démesuré, péchaient par excès contraire. Une enquête officielle, pour laquelle on prit comme bases de l'exploitabilité les puissances supérieures à $0^m,30$ et les profondeurs moindres que 1200 mètres, indiqua une durée probable d'environ 1200 ans. Depuis lors les appréciations sont devenues beaucoup plus favorables encore. Il ne faut d'ailleurs pas perdre de vue que le terrain houiller de l'Angleterre n'est pas même le dixième de celui du monde entier, ou seulement des États-Unis à eux seuls [1]. L'humanité a donc encore de longs jours devant elle, avant d'en être réduite à chercher, pour la production de la force et des métaux, des succédanés du charbon.

[1] Les superficies houillères d'un certain nombre de régions ont été évaluées par

Digitized by Google

Mais l'équilibre entre la vieille et la nouvelle Angleterre pourra, bien avant d'atteindre l'entier épuisement de ce que le piqueur anglais appelle *le roi charbon*, éprouver d'importants ébranlements. Stephenson disait en effet qu'au lieu de faire asseoir le Président des Communes sur un sac de laine, l'Angleterre devrait prendre désormais pour symbole de sa puissance une tonne de houille.

569 — *Prix de revient.* — Callon admettait [1] comme une limite inférieure du prix de revient de la tonne de combustible, que de rares exceptions pourraient seules franchir, un minimum de 5 francs, dans les meilleures conditions : couches moyennes régulières, plates, exploitées sans remblai ; ce prix s'élevant facilement à 6 francs, et même plus, sans sortir des procédés du foudroyage.

Il ajoutait qu'on descend rarement avec le remblayage au-dessous de 7 fr. 50 pour les gîtes minces, et que ce chiffre peut dépasser 10 et 11 francs en raison du pendage et des accidents. Avec les couches puissantes, on approche d'un minimum analogue de 7 fr. 50, qui s'élève aux environs de 9 francs, si elles présentent une grande inclinaison.

En appréciant d'ailleurs approximativement les proportions de

Amstead d'une manière approximative en kilomètres carrés :

Belgique	1 350
Bohême	2 600
France	5 200
Allemagne	31 000
Angleterre	33 000
Amérique anglaise	47 000
États-Unis (au minimum)	294 000
Total. . . . . environ	414 000

c'est-à-dire de 4 à 500 mille kilomètres carrés, ou de 40 à 50 millions d'hectares. D'après des appréciations plus récentes, M. Levasseur (*Génie civil*, III, 524) porte à 490 700 kilomètres carrés pour l'Amérique, la superficie probable du terrain renfermant des veines de houille. Le seul bassin de Missouri présenterait 202 000 kilomètres carrés (Production houillère de la Grande-Bretagne, *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, II, 662).

[1] Callon, *Cours d'exploitation*, I, 422. Ces appréciations se rapportent à l'époque de la publication dudit ouvrage, en 1874.

Digitized by Google

ces diverses sortes pour le monde entier, Callon admettait une moyenne générale comprise entre 7 francs et 7 fr. 50 [1].

Les évaluations précédentes, qui remontent à une vingtaine d'années, doivent aujourd'hui être augmentées dans une certaine mesure si l'on veut les mettre d'accord avec la situation actuelle de l'industrie houillère. On peut admettre pour les divers chiffres donnés ci-dessus une majoration de 10 0/0 au moins, qui résulte presque uniquement du renchérissement de la main-d'œuvre.

Lorsque l'on veut comparer entre eux les prix de revient de plusieurs exploitations, il est indispensable de savoir si l'on y a compris toutes les dépenses, quelles qu'elles soient, ou si au contraire on en a exclu certains frais de nature spéciale. Les usages suivis à ce sujet sont en effet très variables suivant les régions, et même d'une mine à la voisine. Un chiffre pur et simple ne saurait donc suffire à caractériser les résultats d'une exploitation. Il convient notamment de savoir s'il comprend les frais généraux (personnel supérieur et employés de bureau, frais d'administration et de vente, charges financières, loyers et assurances, impôts, redevances, secours, écoles, etc.); si l'on y a introduit les dépenses de travaux préparatoires ou extraordinaires, les frais de transport à la surface; si les dépenses de premier établissement y entrent pour leur valeur complète, ou réduites à l'amortissement.

Même établis dans des conditions identiques et pour des matières similaires, les prix de revient sont presque toujours différents d'une mine à l'autre; et les divergences tiennent souvent davantage à la situation et à la nature du gîte lui-même qu'à l'habileté plus ou moins grande des ingénieurs.

Le taux des salaires et le prix des fournitures subissent en effet des variations considérables suivant les pays. Quant à la constitution du gisement, tous ses éléments interviennent pour majorer

[1] J'ai donné dans la première édition de cet ouvrage (tome I, pages 582 à 600) un grand nombre d'exemples de prix de revient, établis avec détails d'après les divers chapitres de dépenses, et relatifs aux combustibles ou aux minerais métalliques, en France ou à l'étranger. Mais ces chiffres auraient aujourd'hui perdu de leur actualité, et ma position officielle actuelle ne me permettrait plus les démarches nécessaires pour me mettre en état de remplacer ces tableaux par d'autres plus récents. Je les supprime donc purement et simplement.

Digitized by Google

ou diminuer le prix de revient. Nous avons déjà signalé l'influence de l'épaisseur et de l'inclinaison des couches; la profondeur des travaux agira sur les dépenses d'extraction, la nature du toit sur celles de boisage, etc. Certaines circonstances viennent enfin accroître les dépenses dans une proportion importante; par exemple la présence du grisou dans les travaux, celle de l'acide carbonique sous forme de dégagements instantanés, l'abondance des eaux à épuiser, le caractère inflammable de quelques charbons, etc.

Le prix de revient des produits extraits constitue d'après cela une donnée essentiellement variable, non seulement d'une mine à la voisine, mais même d'une couche à l'autre de la même exploitation. Elle subit aussi des fluctuations notables avec le temps. C'est ainsi que, suivant l'état du marché, l'on peut être parfois amené à délaisser ou à reprendre l'exploitation de tel ou tel quartier, dans lequel les travaux sont particulièrement onéreux. Mais on doit bien se garder d'abuser de cet expédient pour réduire le prix de revient, et d'arriver par là sans nécessité à un véritable gaspillage du gîte, que l'on ne pourrait que regretter plus tard.

Digitized by Google

CHAPITRE XXIII

EXPLOITATION A CIEL OUVERT

—

§ 1

PRINCIPES GÉNÉRAUX

570 — *Avantages et inconvénients.* — Lorsque les gîtes minéraux se trouvent dans une proximité suffisante de la surface, on les exploite *à ciel ouvert* (fig. 400). Ce procédé présente de grands avantages. En ce qui concerne le danger, on supprime ainsi l'éboulement du plafond, les coups d'eau, l'incendie souterrain; on évite le grisou; on réalise de meilleures conditions hygiéniques pour le personnel. Sous le rapport de l'économie, on fait disparaître l'éclairage, le boisage; on facilite l'abatage, en employant de grands gradins, ou dans certains cas, des appareils spéciaux appelés excavateurs [1]. Le triage à la lumière du jour est plus complet; il évite de transporter une certaine quantité de matériaux inutiles, qui eussent échappé à l'attention dans les travaux souterrains. On peut retirer la totalité du minerai sans en rien

[1] Max de Nansouty, *Génie civil*, XIII, 131. — Excavateur à crible pour ballastière, *Ibidem*, X, 104; XV, 240. — Cadard, *Annales des Ponts et Chaussées*, février 1885.

Terrassier à vapeur Buette, *Génie civil*, VIII, 257. — Excavateur Couvreux, *Ibidem*, 15 juillet 1883, VII, 215, 305. — Excavateur Domange, *Ibidem*, VII, 390. — Excavateur Dunbar et Ruston (*Ibidem*, X, 410. — *CRM.*, 1890, 183). — Excavateur Gabert, *Génie civil*, V, 393; VIII, 217. — Excavateur Hermann Lachapelle Boulet, *Ibidem*, VIII, 65. — Excavateur Jacquelin et Chèvre, *Ibidem*, V, 357; IX, 107. — Excavateur de la Osgood Dredge Company, *Portefeuille économique des machines*, 3e, X, 78. — Excavateur Weyher et Richemond, *Génie civil*, VIII, 151.

Digitized by Google

perdre, avec une rigueur et une facilité que ne sauraient com-

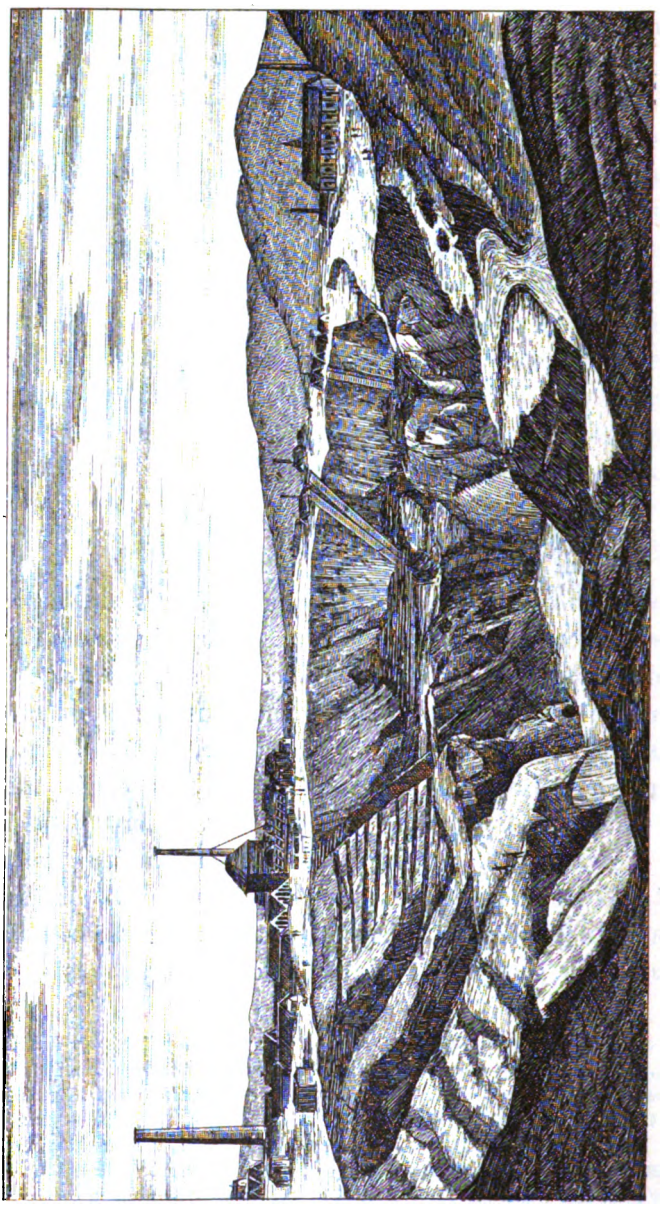


Fig. 400. — Mine de plomb à ciel ouvert de Mechernich.

porter, au même degré, les méthodes ordinaires.

Digitized by Google

Les découverts et les exploitations intérieures se prêtent un mutuel secours, lorsque l'on peut les associer sur un même gisement. Les premiers fournissent du remblai aux chantiers souterrains, qui les débarrassent par là de stériles encombrants. On se trouve, pour ce cas spécial, un peu moins étroitement limité quant à la profondeur qu'il est possible d'atteindre à ciel ouvert dans des conditions rémunératrices.

La méthode à ciel ouvert fournit enfin un remède décisif pour sauver la partie supérieure de gîtes de combustible définitivement compromis par l'incendie, comme conséquence de la mauvaise exploitation des anciens.

571 — En revanche, on ne doit pas dissimuler de réels inconvénients de ce principe. C'est, en premier lieu, la nécessité pour l'exploitant de se rendre acquéreur en totalité de la superficie qu'il veut dépecer, et en outre même, la plupart du temps, d'un supplément destiné à former les places de dépôt. C'est surtout la limitation caractéristique et très étroite qui est imposée pour l'épaisseur des morts-terrains de recouvrement. Les frais de la découverture croissent rapidement avec la hauteur stérile, tandis que ceux qu'entraîne l'exploitation souterraine en sont peu affectés, du moins dans la faible zone accessible aux travaux à ciel ouvert. Il y a donc nécessairement, en chaque cas, un point où l'équilibre s'établira entre l'accroissement dû à la profondeur et l'économie à peu près constante que réalise, dans l'exploitation souterraine, la suppression des chapitres de dépense énumérés ci-dessus. Callon évalue, en moyenne, cette différence à 2 fr. 70 par tonne de houille.

La limite d'épaisseur n'a d'ailleurs rien d'absolu. Elle dépend de la valeur de la tonne de minerai, de la puissance sur laquelle il se trouve accumulé, et de la nature du recouvrement. On admet, par exemple, que l'on peut dans un charbonnage enlever économiquement une épaisseur de morts-terrains égale au double ou au triple de celle de la houille subordonnée. Cependant certains ingénieurs étendent cette proportion au quintuple, et l'on a même été jusqu'au rapport de 7 à 1, lorsque les cir-

Digitized by Google

constances locales se sont montrées particulièrement favorables [1].

Il peut arriver encore qu'une exploitation à découvert cesse d'être fructueuse si la nature du gîte s'altère en profondeur, et que des noyaux stériles, des nerfs, viennent à s'y manifester. On se trouverait, en effet, conduit à extraire une grande quantité de matières inutiles, tandis qu'une exploitation souterraine permet plus facilement de dépecer les parties intéressantes, en se glissant entre celles qui sont sans valeur [2].

572 — *Talus.* — En dehors de la question économique, pour régler le point où l'exploitation doit s'arrêter en profondeur sous peine de cesser d'être rémunératrice, on se trouve également limité par des considérations purement techniques, résultant de l'impossibilité de maintenir les parois des excavations au delà d'une certaine hauteur, sans augmenter l'emprise d'une manière exagérée. Cependant on peut citer à cet égard des résultats fort remarquables. Les fers en grains de la Haute-Marne ont été excavés jusqu'à des profondeurs de 50 mètres. Les découverts de Nordmark (Suède) ont atteint plus de 120 mètres, ceux de Dannemora sont arrivés à 135 mètres. Les ardoisières de Trélazé ont dépassé ce chiffre. La carrière de l'Hermitage s'est effondrée en arrivant à 180 mètres [3].

Si les talus sont à pierres non adhérentes, ou si l'on dépèce des éboulements, on se trouve quelquefois amené à employer des surveillants spéciaux qui ne doivent pas quitter des yeux les parois du chantier, afin de pouvoir crier *gare* s'ils voient quelque masse se mettre en mouvement. Il est très essentiel, pour que les hommes puissent rapidement se mettre en sûreté, qu'ils ne soient jamais acculés à des tas de déblais ou de matière utile, suivant pas à pas l'avancement et gênant leur fuite en cas de danger.

(1) Nesterowski (*Bull. min.*, 2e, VII, 843).

(2) Cette circonstance s'est présentée à Moresnet (Vieille-Montagne). On a rencontré dans la profondeur, mêlés à la calamine, les résidus du grand travail de corrosion effectué par les sources hydrothermales. Ces parties impures ont été exploitées souterrainement, par la méthode horizontale propre aux amas (N° 534).

(3) Ce chiffre représente sensiblement la somme des hauteurs superposées de la flèche des Invalides (105 mètres), et du Panthéon (79 mètres).

Digitized by Google

L'élément essentiel qui permet de s'enfoncer sans compromettre la sécurité du personnel est le *talus*, ou le *fruit*, c'est-à-dire l'angle d'inclinaison qu'il convient de donner aux parois. Certaines roches dures peuvent se tenir verticalement sur des hauteurs immenses. La nature en présente des exemples gigantesques dans les montagnes, ou le long des falaises qui bordent l'Océan. Quelques exploitants profitent de cette circonstance pour s'enfoncer verticalement sans aucun talus. Beaucoup de filons de minerai de fer, en Suède, sont excavés à pic entre leurs épontes. Les carrières de Couzon (Rhône) présentent des escarpements considérables.

En général, il faut compter sur une certaine pente, variable avec la nature des terrains. Il est important d'ailleurs de distinguer deux sortes de talus : celui de la roche en place sur le bord des excavations, et celui sous lequel se tiendra la même roche ameublie dans les cavaliers de déblais. Il sera même souvent sage de s'arrêter à cette dernière valeur, afin de tenir compte à l'avance de l'action prolongée du temps. Quand on ne possède *a priori* aucune donnée immédiate, on admet généralement pour des matières sans consistance 1 de base sur 1 de hauteur. Des terres argileuses fortes prennent, par le pelletage, 5 de base pour 7 de hauteur; des sables incohérents jetés à la pelle : 5 de base pour 3 ou 4 de hauteur.

Il faut bien remarquer, du reste, que cet élément ne saurait former une constante, caractéristique de chaque terrain. Une surcharge placée près du bord de l'excavation nécessitera plus de pied. Indépendamment de fardeaux artificiels, tels que le poids d'un édifice ou d'un cavalier rapporté, la propre masse du terrain oblige à coucher progressivement, dans la profondeur, l'inclinaison de son profil. Il y a donc lieu, pour un talus très élevé que l'on veut établir d'une manière rationnelle, d'employer des profils polygonaux, de plus en plus redressés à partir du fond, en vue d'économiser l'achat de la superficie qui correspond à un même plafond mis à nu. A chaque changement de fruit, on intercale une *berne* horizontale, qui sera utile pour la circulation des véhicules et le captage des eaux aux divers étages, quand il est nécessaire de les relever mécaniquement. On économisera en effet sur le travail

Digitized by Google

d'épuisement, en évitant de leur laisser atteindre le fond, et l'on supprimera en même temps le ravinement des pentes par les eaux sauvages.

573 — Ces profils en ligne brisée se règlent théoriquement de la manière suivante (fig. 401). On marque, à partir de la surface A_0,

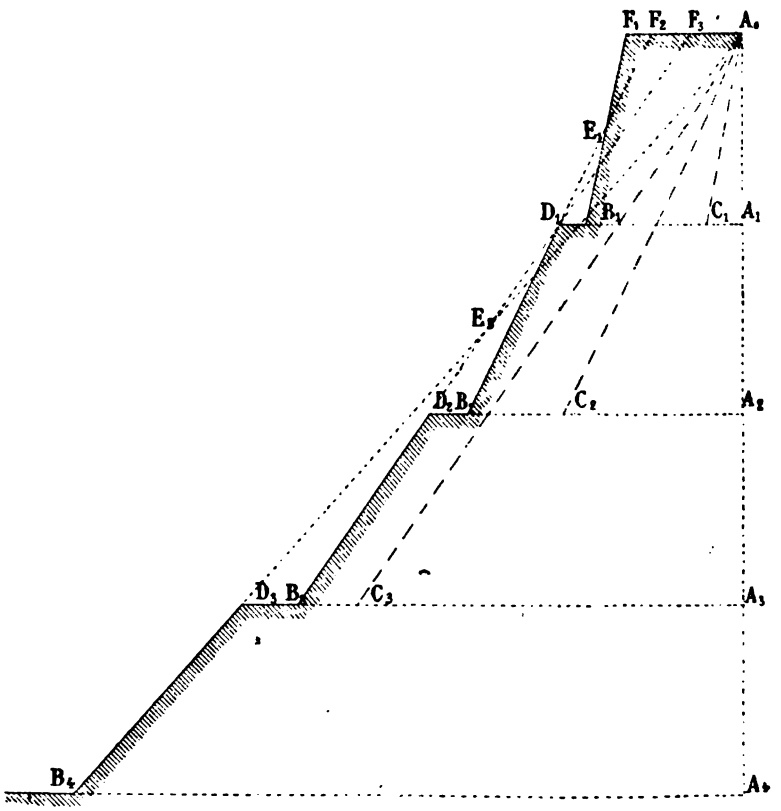


Fig. 401.

les divers niveaux A_1, A_2, A_3, A_4 auxquels les circonstances locales recommandent de fixer les étages, supposés dans le cas actuel au nombre de quatre, pour fixer les idées. On figure les plans horizontaux A_1B_1, A_2B_2, A_3B_3, A_4B_4 de ces points de division. On calcule, par les formules de la théorie de la poussée des terres [1],

[1] Maurice Lévy (*Journal de mathématiques pures et appliquées*. 2e série, t. XVIII).

Digitized by Google

les inclinaisons A_0C_1, A_0C_2, A_0C_3, A_0B_4, des talus qui conviennent pour ces diverses hauteurs.

Cela fait, on adopte pour le dernier étage la portion D_3B_4 du profil qui lui correspond. Mais on supprime le reste A_0D_3 de ce talus, et on le remplace de la manière suivante. Marquant en E_3 le milieu de cette longueur, on conduit par ce point une parallèle $B_3E_3F_3$ à l'inclinaison A_0C_3, relative à l'avant-dernier étage. Ce talus B_3F_3 est donc en état de se soutenir, en ce qui le concerne, et d'un autre côté cette substitution ne modifie pas la charge supportée par le précédent D_3B_4, puisqu'en supprimant le prisme $B_3D_3E_3$, on ajoute d'autre part $A_0E_3F_3$ qui lui est équivalent.

On adopte alors pour l'avant-dernier étage le profil D_2B_3, mais on supprime le surplus D_2F_3 de ce talus, en le remplaçant de la manière suivante. On prend, à cet effet, le milieu D_1 de la longueur supprimée D_2F_3, et l'on trace par ce point une parallèle $B_2D_1F_2$ à l'inclinaison A_0C_2 qui convient pour cette profondeur. Ce talus B_2F_2, capable dès lors de se soutenir par lui-même, ne modifie pas la charge sur la partie inférieure, en raison de l'équivalence de la partie supprimée $B_2D_1D_2$ et de la portion ajoutée $D_1F_2F_3$.

On n'emploie encore, de ce talus, que la portion D_1B_2 relative au second étage, et l'on remplace le surplus D_1F_2 par la parallèle B_1F_1 menée à l'inclinaison A_0C_1 relative à cette hauteur, au milieu E_1 de la droite supprimée D_1F_2. Ce dernier talus B_1F_1 se tiendra d'après cela de lui-même, et l'équivalence des prismes $B_1D_1E_1$ et $E_1F_1F_2$ ne modifiera pas la charge exercée sur la partie subordonnée.

On voit qu'avec cette construction l'on économisera, comme achat de terrain, toute la partie A_0F_1, qui eût été indispensable avec un talus unique $B_4D_3A_0$. Quant au volume de déblai, il est resté le même, d'après les explications précédentes. Mais le travail d'extraction n'en aura pas moins augmenté, car les diverses parties sont prises, de cette manière, à des profondeurs plus grandes. On voit, par exemple, que $B_1E_1D_1$ est subordonné à $F_1E_1F_2$ auquel il a été substitué ; il en est de même pour $B_2D_1D_2$, remplaçant $F_2D_1F_3$, et pour $B_3E_3D_3$, qui tient la place de $A_0E_3F_3$.

574 — Lorsque les ouvriers doivent travailler sur des talus

Digitized by Google

raides ou glissants, il est prudent de les attacher avec des cordes à des points fixes de la partie supérieure, afin qu'ils ne puissent être entraînés. Même alors les mouvements violents qui accompagnent une perte d'équilibre sont dangereux, et peuvent devenir mortels. Aux carrières de Sablé, les hommes sont assis dans des sièges suspendus, pour frapper tous ensemble sur les lignes de coins, destinés à faire éclater les blocs de marbre [1].

Souvent on met à nu, en dressant un talus, de petits affleurements d'argile. Ces lits, intercalés dans la stratification, arrêtent l'infiltration des eaux, qui les délayent et les transforment en une surface lubrifiée, facilitant le glissement de la masse supérieure. En temps ordinaire, les eaux s'écoulent librement, et leur influence est peu à redouter. Mais en hiver la gelée, enfermant les affleurements, arrête les suintements, retient les eaux dans l'intérieur, et prépare le délayage de l'argile. Il convient, pour éviter ce danger dans les talus destinés à une certaine durée, d'y pratiquer une *gargouille* de la manière suivante. On enlève, à cet effet, l'argile sur une certaine profondeur, que l'on remplit de paille, en y ménageant des bouts de tuyaux pour relier l'extérieur à l'intérieur. Cette partie se trouve préservée de la gelée par la paille, qui intervient comme mauvais conducteur en immobilisant l'air dans ses interstices; l'eau y reste dès lors à l'état liquide, et s'écoule au dehors par les tuyaux.

On rencontre également des affleurements sableux incohérents, qui se déliteraient rapidement, en laissant leur toit en porte-à-faux et hors d'état de soutenir la charge qui le surmonte. Il sera bon dans ce cas de prendre les devants, et de vider l'affleurement sur une certaine profondeur, en le remplaçant par de la maçonnerie, à travers laquelle on ménage des barbacanes pour l'écoulement des eaux.

575 — *Types généraux d'exploitation.* — La conduite des exploitations à ciel ouvert repose sur des principes généraux exces-

[1] Au Popocatepelt (Cordillère mexicaine), à 5230 mètres d'altitude, des ouvriers attachés à un gros câble descendent à une profondeur de 80 mètres dans un abîme de 350 mètres de hauteur totale, pour détacher des parois de longues stalactites de soufre que l'on remonte avec des treuils (*Bulletin de l'Association scientifique de France*, 30 décembre 1883, p. 200).

Digitized by Google

sivement simples; mais leur application se trouve très diversifiée par les circonstances locales, et trop souvent, il faut bien le dire, par le manque de suite dans la conduite de ces grands travaux.

Il est en effet extrêmement essentiel de ne procéder que d'après un plan d'ensemble, largement, mais nettement conçu, et qui, laissant place aux détails de l'imprévu et du développement journalier des opérations, établira néanmoins de grandes lignes pour le système à suivre.

On s'efforcera d'atteindre directement, sur chaque point, le maximum de profondeur auquel il est destiné, dans les prévisions les plus probables que l'on a pu former. Avec cette précaution, la plate-forme ainsi mise à nu pourra être utilisée comme place de dépôt pour les stériles provenant du reste de l'exploitation. Autrement l'on se trouverait conduit quelque jour, au moment de prendre la tranche subordonnée, à déplacer ce nouveau recouvrement. De tels remaniements sont souvent la cause la plus efficace de l'insuccès économique et de l'arrêt du travail à ciel ouvert.

Il convient également d'établir le point d'attaque dans la partie du champ d'exploitation qui est appelée au plus grand approfondissement, afin que les eaux puissent s'y concentrer, en asséchant les chantiers ultérieurement ouverts. On amorce donc l'exploitation en aval des pentes, et l'on procède en montant légèrement; afin que les eaux dégagent le front de taille, au lieu de s'y accumuler, et aillent se perdre au milieu des matériaux rejetés en arrière. On ménage, s'il y a lieu, dans ces cavaliers de déblai une galerie dont on établit la voûte à ciel ouvert, pour la charger ensuite de terres. L'eau s'engage alors sous ce tunnel en traversant le massif de stériles, et s'écoule au delà dans la vallée, s'il est possible de lui ménager cette issue.

Lorsqu'il n'est gêné que par les eaux du ciel, l'exploitant commence par en garantir autant que possible l'excavation, en l'entourant de fossés de circonvallation, qui interceptent les écoulements de la plaine et les reportent plus loin en aval.

Si, au contraire, l'on se trouve dans le thalweg même d'une vallée parcourue par un cours d'eau permanent, comme c'est souvent le cas des alluvions d'or, d'étain, etc., on commence par la

Digitized by Google

barrer en amont, à un niveau assez élevé pour faire cheminer le courant dans un chenal artificiel sur le flanc du coteau, et le dériver en aval des travaux, en créant ainsi une force hydraulique utile à la préparation mécanique des minerais.

Lorsque le gîte, au lieu d'être dans le thalweg, se trouve à flanc de coteau, on attaque l'affleurement (fig. 410) en rejetant les matières stériles en arrière au niveau de chaque berne, afin de n'avoir rien à remonter. Si la vallée doit se trouver par là comblée, il est nécessaire d'y assurer préalablement l'écoulement, ainsi qu'il vient d'être expliqué, au moyen d'un tunnel dont la section sera déterminée en prévision des plus grandes crues.

Quand on se trouve en plaine (fig. 402) sur l'affleurement d'un

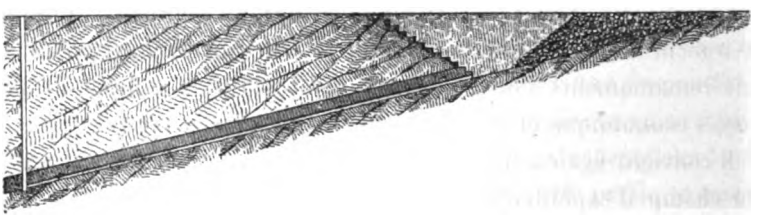


Fig. 402. — Découvert pratiqué sur un affleurement.

gîte incliné, dans lequel s'établit en aval-pendage une exploitation souterraine, à partir du point où le recouvrement ne peut plus être économiquement enlevé, l'on commence par pratiquer une galerie suivant la pente, pour conduire à une recette du puits les eaux, et même les matériaux excédant ce que la disposition des banquettes permet d'accumuler en arrière à l'aide du roulage horizontal.

Si l'on ne se relie pas à des travaux souterrains, on exécute une tranchée suivant la direction de la stratification, de manière à laisser derrière soi l'aval-pendage. On est dès lors assuré contre toute tendance au glissement de cette partie. Sur les deux flancs, profilés d'après des lignes de plus grande pente, on n'en aura pas non plus à redouter en donnant à ces parements le talus nécessaire. Quant à l'avancement qui est conduit en montant dans l'amont-pendage, il faudra s'y garer contre les glissements en fractionnant le front de taille en gradins, et attribuant au terre-

Digitized by Google

plein de chacun d'eux une longueur suffisante, afin d'éviter qu'il constitue une charge trop considérable pour le talus de celui qui lui est subordonné.

La hauteur de ces gradins devra être d'autant plus restreinte que l'on sera conduit à se mettre plus complètement en garde contre la tendance au glissement. Elle varie depuis $1^m,50$ à 3 mètres jusqu'à 15 et 16 mètres dans les grands abatages. Avec une hauteur notable, la tombée est plus fructueuse. Cependant il ne faudrait pas aller jusqu'à l'exagération. Si la roche est dure, elle se divisera en gros blocs qu'il faudra de nouveau fractionner, et souvent dans des situations moins commodes que l'emplacement naturel. Si elle est ébouleuse, on obtient peu d'avantage, et l'on s'expose à un grand encombrement. Le cas le plus favorable sous ce rapport est celui d'une stratification présentant des lits de consistances très diverses, que la chute en masse contribue à fragmenter.

On combine avantageusement avec l'enlèvement à ciel ouvert quelques travaux souterrains exécutés au pied des grandes tranchées, pour en faciliter l'éboulement. On pratique alors de courts travers-bancs perpendiculairement au front de taille, et en arrière une galerie de recoupe. On établit dans ces piliers des fourneaux de mine, que l'on fait sauter simultanément à l'aide de l'électricité. J'ai donné déjà (N° 166, note) un spécimen de l'échelle grandiose sur laquelle on opère ainsi dans certaines carrières [1].

§ 2

EXEMPLES

576 — Ces aperçus généraux présentent inévitablement un certain caractère d'indétermination. Il ne sera donc pas inutile de préciser un peu davantage en examinant de plus près un certain nombre d'exemples spéciaux, choisis parmi les plus remarquables par leurs dimensions, leur situation, ou la nature des matières extraites.

[1] Orieulx de la Porte, Carrières de Lafarge du Theil (*Annales*, 8e, III, 295).

Digitized by Google

Carrières de pierres meulières des environs de Paris [1]. — On emploie pour ces importantes exploitations deux méthodes principales : *par trous* ou *par grands fronts de taille*. La première est la plus usitée.

Avec la méthode des trous, après avoir éclairé la marche à l'aide de courtes sondes, on met la meulière à nu, en formant en arrière de l'avancement un cavalier de déblais. On se meut ainsi au milieu des parties stériles, appelées *vaches*, en abandonnant l'excavation quand elle se trouve limitée de tous les côtés par des zones improductives.

La méthode par grandes tailles est plus avantageuse. On la rencontre à Juvisy, à Soisy-sous-Étioles et aux Essarts. Des sondages sont pratiqués tous les 6 ou 8 mètres. On met de côté la terre végétale, pour la reprendre en fin d'exploitation. Les déblais suivent l'avancement à quelque distance sans gêner l'abatage. Le front de taille est disposé en décrochements qui déterminent le champ de chaque brigade. On traverse les *vaches* de peu d'importance. On contourne les autres. Les excavations sont ensuite remblayées, et l'on rétablit la couche de terre végétale de manière à rendre à la culture la superficie, ou à la reboiser.

L'abatage réclame rarement l'emploi des explosifs. On isole les blocs à la pioche; on les soulève avec la pince; on les brise avec un marteau carré à deux têtes, appelé *têtu*, en profitant des clivages de la masse.

Le prix de revient de l'abatage varie entre 2 francs et 2 fr. 50 par mètre cube. Il faut lui adjoindre le *fortage*, c'est-à-dire la redevance due au propriétaire, laquelle varie suivant les circonstances depuis 25 centimes jusqu'à 2 francs par mètre cube. Un mode plus simple et moins sujet à contestations consiste en une redevance fixe par hectare. Les frais qui s'ajoutent en outre à ces deux éléments ne doivent pas, dans une bonne exploitation, dépasser 50 centimes par mètre cube.

[1] Colomer (*Bull. de l'Assoc. amic. de l'École des mines de Paris*, janvier 1895, 10. — *Revue technique*, XV, 554, 560 ; XVI, 11).

Digitized by Google

577 — *Ardoisières de Trélazé* (*Maine-et-Loire*) [1]. — Nous avons déjà parlé (N° 428) de la formation ardoisière d'Angers, à l'occasion de son exploitation souterraine. On y pratique en même temps des découverts qui peuvent compter parmi les plus importants.

Pour ouvrir une carrière, la première opération est l'endiguement de la superficie que l'on se propose de fouiller, si l'on se trouve dans des terrains bas. La digue que l'on élève à cet effet est formée de terre battue, sur $0^m,80$ d'épaisseur, comprise entre deux murs en pierres sèches, que l'on protège eux-mêmes avec un amoncellement de débris de carrière. On procède ensuite à la *découverture* du terrain, c'est-à-dire à l'enlèvement des *cosses*, dont l'épaisseur dépasse parfois 20 mètres. En même temps, on prépare sur le *chef* de l'ouest, qui est le plus solide, un *arrêt* en pierres sèches, pour asseoir les engins d'extraction dont nous parlerons plus tard. On procède alors au fonçage, c'est-à-dire au coupement d'une rigole de $3^m,30$ de profondeur, entre les deux *chefs de règle* qui limitent la carrière dans le sens du *fil de pierre*, ou de la longueur. Pour abattre le schiste, après l'ouverture de chacune de ces foncées, on exécute des coupes verticales, et l'on tire à la poudre.

On a soin, au fur et à mesure de l'enfoncement de l'exploitation, et suivant la vétusté de ses parois, de *cheviller* et de *décalabrer* ces dernières, c'est-à-dire d'y fixer avec de grandes tiges de fer les blocs qui menacent ruine, ou d'en purger les surfaces en provoquant leur chute. A cet effet, des ouvriers *décalabreurs* travaillent suspendus à des câbles, et assis dans des cages appelées *culottes de décalabrage*. Ils se servent de coins, de leviers, et aussi du délayage par l'eau. On a soin de surveiller les moindres mouvements au moyen de plaques de suif appliquées sur les deux lèvres des fentes. Leur rupture met en éveil, et indique le progrès du danger. Le péril peut laisser parfois plusieurs mois de latitude, mais malheureusement l'on a aussi observé des catastrophes abso-

[1] Blavier, *Essai sur l'industrie ardoisière d'Angers*, p. 16. — De Launay, Une visite aux ardoisières d'Angers, *La Nature*, 21 juillet 1894, 121. — Larivière, Ardoisières d'Angers, *Bull. Soc. d'enc.*, L, 755; LI, 309. — Watrin, Bassin ardoisier de Fumay, *Bulletin de la Société d'histoire naturelle des Ardennes*. — Bonnardeau, Industrie ardoisière d'Herbaumont, *Rev univ. d. m.*, 2e, XIX, 23.

Digitized by Google

lument soudaines. Les pluies prolongées, les dégels en deviennent le plus souvent l'occasion.

L'exploitation de ces grands découverts est du reste en voie de diminution progressive devant l'emploi des méthodes souterraines (Nos 428; 515, note), et l'on n'en compte plus guère, dans les environs d'Angers, que quatre ou cinq seulement.

Ardoisières de Penrhyn et Llambéris (*Pays de Galles*) (1). — Ces deux centres d'exploitation de schiste ardoisier, dont l'activité remonte au règne de la reine Élisabeth, sont à peine distants l'un de l'autre de quelques kilomètres, mais leurs produits s'évacuent dans deux directions différentes : pour le premier à Bangor, sur la mer d'Irlande, et pour l'autre à Portdinowic, dans le détroit de Menai. Chacun d'eux occupe environ 3000 ouvriers. A Llambéris, cette population se trouve disséminée sans encombrement sur un champ d'exploitation de plus d'un kilomètre de longueur, avec une différence de niveau de 400 à 500 mètres sur le flanc de la vallée. A Penrhyn, elle est concentrée dans une excavation unique d'environ 300 mètres sur 200. Pour le seul centre de Penrhyn, la production annuelle dépasse cent mille tonnes. Le mode général d'exploitation procède par grandes tranchées de 10 à 15 mètres de hauteur, d'une largeur de 20 mètres, et d'une longueur variable suivant les accidents topographiques. L'ensemble présente 16 gradins, communiquant entre eux par des plans inclinés de 100 à 200 mètres.

Ardoisières de Festiniog (*Pays de Galles*). — Cette localité se trouve située à 16 kilomètres de Madoc, son port d'embarquement sur la baie de Cardigan. La couche a 40 mètres de puissance, elle est inclinée à 45 degrés. Le toit est parfaitement régulier et très solide. Les affleurements se trouvent à plus de

(1) Davies, *Traité de l'ardoise et de son exploitation*, in-12. — Blavier, *Essai sur l'industrie ardoisière d'Angers*, page 61. — Larivière (Notes d'un voyage aux ardoisières du Pays de Galles, *Annales*, 8e, VI, 518. — Les Ardoisières du Pays de Galles, *Bulletin de l'Association amicale des Élèves de l'École des mines de Paris*, 1885, 156). — Ardoisières du Pays de Galles, *Annales industrielles*, 14, 21 et 28 mars 1886.

Digitized by Google

150 mètres au-dessus de la vallée. Un coupement évacue les eaux et en débarrasse l'exploitation.

La couche (fig. 403) est partagée suivant la direction en massifs de 10 mètres, réservés comme soutiens entre d'autres lopins de 20 mètres, qui sont destinés à être dépilés. Les longs boyaux ainsi pratiqués dans la masse s'enfoncent dans la profondeur, comme de vastes puits inclinés; et la mine ne mérite le nom de chantier à

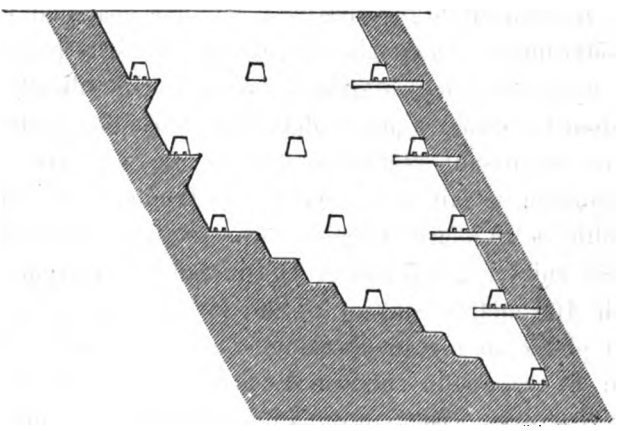


Fig. 403. — Ardoisières de Festiniog (Pays de Galles).

ciel ouvert, que parce que l'orifice de ces grandes excavations débouche au jour.

L'abatage se fait par tailles de 15 mètres suivant la verticale, ou 25 mètres de relevée. On le pratique en descendant au toit de la couche dans la première chambre. De là on communique avec les autres par des coupements, et l'on vide ensuite ces chambres en s'élevant sous stot. L'exploitation s'élargit dans le sens de la traversée au moyen de gradins, et l'on ménage deux nouvelles séries de coupements d'une chambre à l'autre, l'une au milieu de la puissance et l'autre au mur. On établit la continuité de ces communications d'un pilier à l'autre, en jetant des ponts en charpente sur le vide des chambres, au moyen de corbeaux fixés dans la roche du toit et de corniches réservées dans le mur lui-même. Ces chemins de fer, après avoir traversé toute l'exploitation,

Digitized by Google

finissent par déboucher sur le flanc du coteau, où ils amènent les produits.

578 — *Carrières de talc de Luzenac (Ariège)* [1]. — Ces carrières sont situées à 1800 mètres d'altitude, sur le massif du Saint-Barthélemy. Le talc exploité se trouve inséré entre les micaschistes et les schistes du silurien inférieur. Il fait partie d'une longue bande talqueuse de 2 kilomètres au moins de longueur, avec une inclinaison de 60° vers l'est, sur une épaisseur variable de 50 à 300 mètres. La couche est parsemée de forts pointements calcaires et de blocs de protogine. La roche est un silicate de magnésie, dont la densité a pour valeur 2,5. Certaines parties sont d'un blanc éblouissant, et d'autres d'un ton gris verdâtre.

L'exploitation se fait à la carrière de Trimouns sur deux ou trois gradins de 15 mètres dirigés en travers du gisement. On commence par enlever 2 à 3 mètres de terres de recouvrement. Une galerie de 160 mètres, suivant au mur la direction de la couche, se trouve placée au niveau inférieur, et assure la sortie des produits sur le versant du ruisseau d'Axiat, d'où ils sont descendus avec des charrettes à bœufs jusqu'à l'usine de Luzenac, distante de 20 kilomètres, pour y subir la préparation mécanique.

Celle-ci consiste en un triage de grosseur à l'aide d'un trommel, suivi d'un séchage dans des cylindres métalliques tournant sur un foyer, et garnis de nervures hélicoïdales qui provoquent l'entraînement des matières. Elles passent ensuite dans des broyeurs à boulets et des bluteurs mécaniques.

La production est de 10 000 tonnes. Le talc se vend en poudre pour la presque totalité. On fabrique aussi des crayons destinés à tracer sur les tôles.

579 — *Phosphates de l'Auxois (Côte-d'Or)* [2]. — L'un des horizons dans lesquels se trouve concentré le phosphate de chaux

[1] *CRM*, 1895, 331.

[2] Phosphates de la Somme, *Génie civil*, XVII, 330. — Luidet, Exploitation et enrichissement des sables phosphatés, *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, VIII, 26. — Wilson, Les gisements phosphatés de la Floride, *Revue générale des sciences pures et appliquées*, 15 janvier 1894, 14. — Levat, Les phosphates d'Algérie et de Tunisie, *Annales*, 1894.

Digitized by Google

d'origine sédimentaire, est le lias inférieur, spécialement le niveau de l'*ammonites Buklandi* dans le calcaire à gryphées arquées. Les nodules sont ordinairement enclavés dans le carbonate de chaux, sans limites nettes ni séparation facile. Cependant l'Auxois a été le théâtre d'un phénomène diluvien, d'une nature un peu obscure, qui a préparé d'avance cette séparation, en altérant les affleurements des bancs de phosphates, dissolvant la gangue calcaire et laissant les phosphorites au milieu d'un limon.

L'exploitation des parties riches de cette zone s'effectue à ciel ouvert. Elle n'est fructueuse que lorsque le recouvrement ne dépasse pas 2 mètres. Les Compagnies traitent avec les propriétaires ruraux, qui exploitent eux-mêmes leur terrain, à la conservation

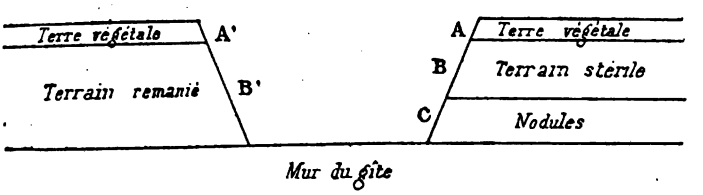


Fig. 404. — Phosphates de l'Auxois.

duquel ils sont directement intéressés (fig. 404). Ils procèdent pour cela par fossés contigus. On commence par enlever avec soin la terre végétale A, que l'on reporte en A′ de l'autre côté de la tranchée, de manière à en recouvrir le terrain remanié B′. On dépèce ensuite le stérile B, qui est rejeté en face en B′, et enfin l'on enlève les phosphates C. Ils sont portés au patouillet à l'aide de petits chemins de fer, et subissent un débourbage, définitif ou simplement provisoire suivant les cas. De cette manière, l'ensemble du gîte est enlevé sans entraîner la destruction de la surface agricole. Elle se trouve même améliorée par le défonçage profond qu'on lui a fait ainsi subir.

Les rognons obtenus sont grisâtres, assez compacts et friables. La masse présente une teneur de 60 à 65 %. Les phosphorites sont livrées en cet état aux usines, et l'on pratique, s'il y a lieu, un second lavage, suivi d'un séchage dans des étuves où

Digitized by Google

les introduisent des chariots plats. Ces nodules sont alors réduits en farine à l'aide de meules horizontales, ensachés et dirigés sur le marché de Paris.

580 — *Mines de sel gemme de Salif* (*Yémen*) (1). — Le gisement de sel de Salif est situé au bord de la mer Rouge, sur une presqu'île qui fait face à l'île de Camaran. Les navires qui amènent à la Mecque les pèlerins de l'Hindoustan chargent cette matière comme fret de retour. L'exploitation à ciel ouvert du chlorure de sodium soluble s'explique par l'absence presque complète de la pluie, qui ne tombe jamais plus de deux ou trois heures par an dans cette région désertique (2).

Le gîte s'étend horizontalement sur plus de 45 hectares, et un simple aperçu permet d'évaluer à plus de 5 millions de tonnes la matière saline située au-dessus du niveau de la mer. La masse est compacte et uniforme, sans aucune trace de stratification. Elle est dissimulée par places sous une couche de sable coquillier, dont l'épaisseur peut atteindre 8 mètres et peut-être davantage ; mais l'exploitation évite naturellement les forts recouvrements. La surface de contact paraît avoir été travaillée par les eaux, car elle est mamelonnée et parfois profondément fouillée comme par des tourbillons. Une chaîne de petites collines de gypse rose compact court parallèlement au rivage, et paraît superposée au sel.

L'exploitation se fait dans trois carrières situées à une quarantaine de mètres de la mer, en maintenant une sole horizontale à deux mètres au-dessus de son niveau.

Les morts-terrains sont dépecés et roulés dans des places où l'on soit sûr de n'avoir pas à revenir. Une équipe spéciale de terrassiers conduit cette découverture à plusieurs mètres en avant de l'attaque de la masse saline, afin que les inégalités de l'épaisseur n'introduisent pas d'irrégularités et d'interruptions fâcheuses pour le chantier principal.

(1) Ces renseignements sont extraits d'une note inédite que je dois à l'obligeance de M. Paulmar, ingénieur civil des mines attaché au service de la Dette publique ottomane à Constantinople, à la suite de son inspection de l'Arabie turque.

(2) On peut rapprocher ces conditions de celles des gisements de nitrate de soude de la côte chilienne.

Digitized by Google

Le sel est abattu en un seul front de taille qui varie entre 6 et 10 mètres de hauteur. Il se tient à pic sans talus appréciable.

L'abatage se fait à la poudre turque, dont on consomme en moyenne 250 grammes par tonne. Le sel n'a besoin d'aucun triage. Des Arabes ou des Abyssins, armés d'une massette de 2 kilogrammes à long manche, fractionnent les gros blocs. On transporte les matières dans des caisses jusqu'aux wagonnets, qui sont conduits à l'estacade de chargement des navires. Les salaires varient de 0 fr. 75 à 1 fr. 25 par jour. La main-d'œuvre par tonne de sel rendue au stock s'élève à 0 fr. 90 en y comprenant les frais du découvert. La production régulière, qui ne date que de quatre ans environ, n'est encore que de 15 000 tonnes; mais elle pourrait être quintuplée dès que l'importance des débouchés le permettrait.

Certaines chambres isolées ont été approfondies au-dessous du niveau de la mer, séparées les unes des autres ainsi que du rivage par des investisons d'une épaisseur suffisante. Cependant, pour quelques-unes d'entre elles, il s'est opéré des communications qui ont inondé ces excavations. L'exploitation y continue toutefois, mais sous une forme totalement différente, par précipitation de sel marin.

581 — *Mines de fer de Somorostro (Biscaye)* [1]. — Les gîtes de fer de Bilbao sont des amas-couchés d'hématite, de l'époque crétacée. Ils sont intercalés entre un grès schisteux ou micacé au mur, et un calcaire argileux au toit. Ils présentent, par places, 73 mètres de puissance. En certains endroits, ils passent à des filons de fer carbonaté spathique, qui atteignent 4 mètres d'épaisseur. On a estimé à 160 millions de tonnes le cubage des gîtes de Matamoros, Triano, Somorostro, sans compter Galdamès, Ollargan, etc.

On distingue quatre espèces de minerais : 1° la *vena dulce*, située à la surface, tendre, d'un rouge sombre, très pure et présentant parfois une structure rhomboédrique; 2° le *rubio*, hématite brune,

[1] Gill, *Iron and steel Institute*, 1882. — Revaux, *Génie civil*, III, 267. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, X, 140. — Bails, *Annales*, 7e, XV, 209. — Pourcel, *Génie civil*, XI, 70. — E. Gruner, *Barcelone-Bilbao, Notes de voyage*, 1888. — Bourson, *Rev. univ. d. m.*, 2e, IV, 648. — Habets, *Ibidem*, 3e, IV, 1. — Gandolfi, *Ibidem*, 3e, IV, 16, 126, 263.

Digitized by Google

plus dure, caverneuse, ordinairement moins pure; 3° le *campanil*, hématite rouge de couleur pourpre, avec de beaux rhomboèdres de spath calcaire, moins ferrifère, mais moins siliceuse et moins hydratée. Le campanil est situé à la base de la formation, et intercalé entre deux couches calcaires. C'est le minerai le plus riche, mais le moins abondant, et qui menace de s'épuiser. Citons enfin : 4° le *minerai spathique*, plus exceptionnel.

En faisant abstraction de ce dernier, les productions des trois autres sortes ont été respectivement de 9, de 34, et de 57 °/₀ en 1881. Le chiffre total, qui s'était abaissé pendant la guerre civile à 20 000 tonnes par an, a été en 1882 de 3 855 000 tonnes, occupant 12 000 ouvriers, et fournissant le chargement de 4000 steamers sur le Nervion. Ce district est partagé entre plusieurs puissantes Compagnies, et beaucoup de petits exploitants. Les travaux ont commencé dès l'époque romaine.

582 — L'enlèvement du gîte a lieu exclusivement à ciel ouvert. A Orconera (fig. 405), on exploite en trois gradins de 12, de 21, et

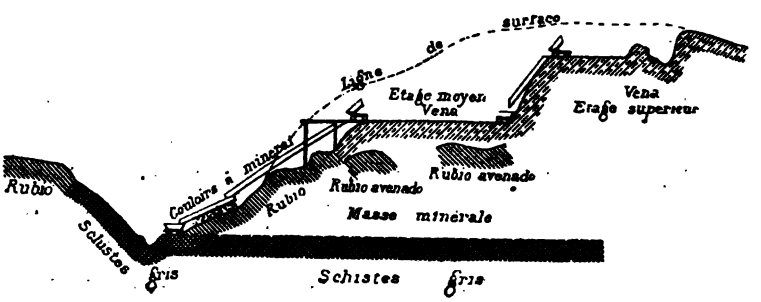


Fig. 405. — Découverts de Somorostro (coupe d'Orconera).

de 14 mètres. La longueur des fronts de taille dépasse 300 mètres. La totalité du minerai descend par des couloirs en planches au fond de la vallée. Le plus inférieur de ces appareils renferme un stock régulateur de 200 tonnes, et sert à charger à la fois 3 wagons de 4 tonnes.

A Concha (fig. 406), la Compagnie franco-belge a d'abord percé un puits, qui est passé de la vena dans le rubio. Après l'avoir

Digitized by Google

rejoint par une galerie sortant au jour, on a procédé à la partie supérieure par élargissements successifs. Le minerai descend dans le puits, pour être évacué par le tunnel[1]. Les travaux ont rencontré d'anciennes galeries éboulées au milieu de la vena.

Les abatages se font en grande masse, et quelques-uns fournissent jusqu'à 3000 tonnes. On fore des coups de mine qui atteignent 10 mètres de longueur, à l'aide de barres à mine manœuvrées par

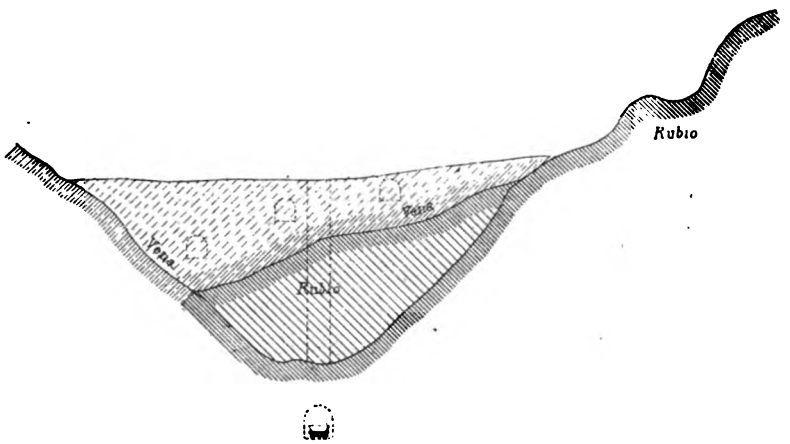


Fig. 406. — Découverts de Somorostro (coupe de Concha).

six ou sept hommes. Les coups ratent souvent dans le rubio, à cause de sa structure caverneuse. Dans ce cas, on en pratique un autre à côté du premier.

Le triage se fait à la main, et amène le minerai à une teneur de 55 %. Le débardage des stériles est rendu difficile par le manque de places de dépôt. On est obligé de leur faire supporter d'assez longs transports en chemin de fer. C'est un des côtés faibles de ces exploitations, où l'on n'évite pas un certain gaspillage, en rejetant de véritables minerais dont la teneur peut approcher de 45 %, afin de s'attacher aux sortes les plus profitables.

Le prix de l'abatage et du triage par tonne varie depuis 1 fr. 25 pour le campanil, jusqu'à 3 fr. 25, et même davantage, dans le rubio. Le prix sur navire a été, en moyenne, de 7 fr. 50 en 1879;

[1] Une méthode analogue a été employée pour le gîte de fer de Moravicza (Banat).

Digitized by Google

11 fr. 25 en 1880; 8 fr. 75 en 1881. Le maximum s'est élevé à 18 fr. 75 en 1881. M. Baills a donné en 1879 le détail suivant pour l'exploitation de Galdamès (1) :

Extraction, chargement sur wagon	0f,87
Transport sur voie ferrée	0f,77
Embarquement	0f,19
Entretien, frais généraux	0f,39
Amortissement.	1f,45
Redevance tréfoncière.	0f,58
	4f,25

583 — *Mines de fer de Mokta-el-Hadid (Algérie).* — Le gisement de Mokta (2) est interstratifié dans les schistes micacés à grenats, pyroxénites et cipolins, compris dans l'étage des gneiss de Bône. Le mur est formé de ce schiste imperméable. Il présente une inclinaison qui varie de 15 à 45°. Le toit est un calcaire cipolin, quelquefois remplacé par un schiste semblable à celui du mur, mais plus tendre et moins grenatifère.

Le gîte forme une masse continue de 1600 mètres en direction (fig. 407), dont les affleurements sont visibles sur un développement de 1500 mètres. Son épaisseur, qui se tient en moyenne à 5 mètres, atteint et dépasse même 15 mètres dans les renflements.

Le minerai est un mélange intime de fer oxydulé et de fer oligiste massifs, rendant 60 % de fonte dans le haut fourneau, et

(1) Dans les découverts du lac Supérieur, avec des recouvrements qui atteignent 12 mètres, le prix de revient de la tonne de minerai de fer s'établit de la manière suivante :

Travaux de préparation.	3f,35
Abatage.	4f,70
Poudre, outils.	1f,40
Transport, épuisement.	1f,85
	11f,30

(Sauvage, *Annales*, 7e, VIII, 1.)

A la mine de fer de Persberg, l'une de celles de toute la Suède où le prix de revient est le plus élevé, il revient à 10 francs la tonne.

(2) Mokta-el-Hadid : *coupure de fer*; dénomination due à l'existence d'une ancienne excavation romaine de 5 à 6 mètres.

Digitized by Google

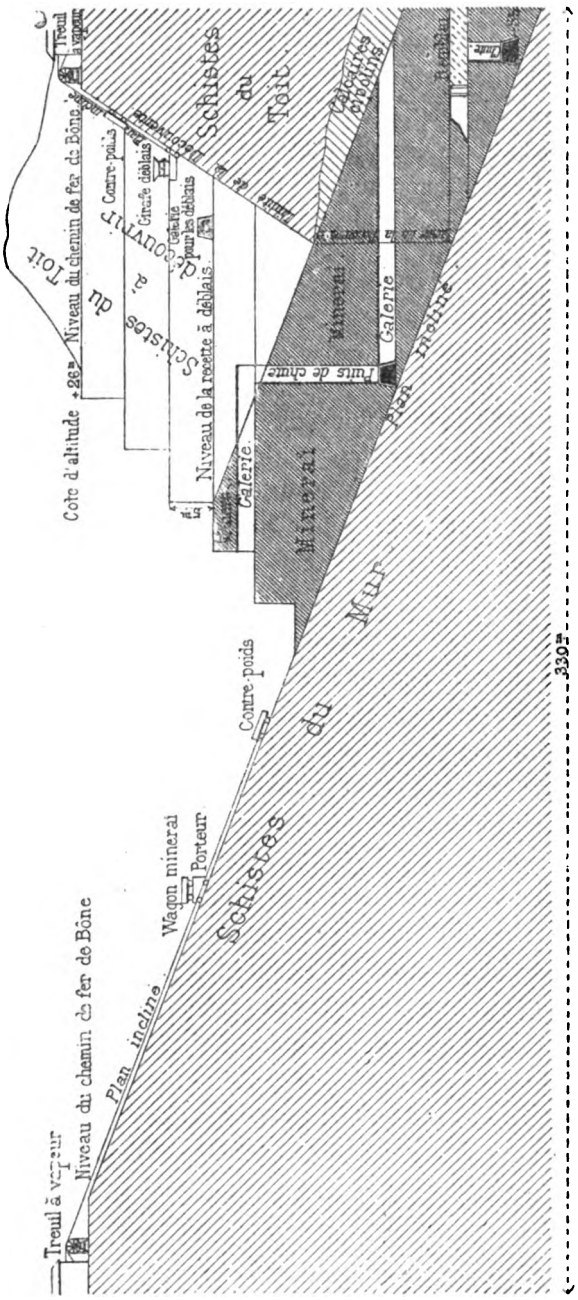


Fig. 407. — Découverts de Mokta-el-Hadid (Algérie).

Digitized by Google

présentant une teneur de 1 à 2 centièmes de manganèse. L'oxyde magnétique tend à dominer dans la profondeur et au voisinage des calcaires, en acquérant une très grande dureté.

La mine est aménagée en vue d'une production annuelle de 300 000 tonnes, mais les fluctuations de la population ouvrière, kabyle ou italienne, arrivent souvent à restreindre ce chiffre. Elle est exploitée, à la fois, à ciel ouvert et par travaux souterrains[1]. Le tonnage se répartit à peu près par $^1/_5$ pour ces derniers, et $^4/_5$ pour le découvert.

584 — Les travaux à ciel ouvert sont conduits en gradins droits. Ils conservent une connexion très étroite avec l'intérieur, où ils écoulent le minerai et l'eau[2]. Les matières sont déversées à des *puits de chute* maçonnés et évasés vers le bas. Ils sont munis de recettes, où l'on effectue directement le chargement sur les wagons du chemin de fer de Bône. Ces derniers circulent dans des galeries tracées en direction, avec un développement d'environ 1200 mètres. Les principales se trouvent à quatre niveaux différents : celui de la mer, deux étages inférieurs aux cotes négatives de 15 et 35 mètres, et un étage supérieur, à l'altitude de 26 mètres, au niveau des rails du chemin de fer. Les wagons, qui pèsent 5 tonnes, sont reçus individuellement sur le chariot-porteur d'un grand plan incliné, à contrepoids et ancre de sûreté, qui les remonte à la cote 26. Le mètre cube de remblai élevé à ce niveau, avec déplacement de 800 mètres, revient à 1 fr. 70 ou 1 fr. 80.

L'équilibre à établir entre les deux modes d'attaque se règle à l'aide de nombreuses coupes du terrain, en prenant en considération le prix de revient du déblai, son épaisseur, son talus, qui est en général de 1 de base sur 2 de hauteur et s'abaisse rarement à 45°;

(1) L'exploitation souterraine s'effectue à l'aide d'une méthode montante de remblayage : en travers dans les parties puissantes, en grandes tailles quand l'épaisseur est inférieure à 2 mètres.

(2) L'entretien d'eau est d'environ 20 ou 30 mètres cubes à l'heure (avec accroissement dans les saisons pluvieuses). Il est remonté par deux pompes Lloyd et une pompe d'avaleresse de secours, dans un puits de 65 mètres.

L'aérage est naturel, en raison des nombreuses ouvertures et des différences de niveau dont on dispose.

Digitized by Google

et, d'autre part, la puissance du minerai, la teneur du mètre cube en tonnes marchandes, le pendage, le prix de l'abatage variable avec la dureté. En général, on admet que l'on peut enlever dans la découverture 2 mètres cubes de schiste pour 1 de minerai [1]. Cependant le rapport $^{11}/_{9}$ de la dépense de main-d'œuvre et de surveillance du travail souterrain aux frais d'exploitation superficielle, semble indiquer que l'on pourrait s'approfondir un peu plus. Mais la prudence retient dans ces limites. On active cet approfondissement lorsque la main-d'œuvre de l'intérieur, plus difficile que celle de la surface, vient à se raréfier, ou que le minerai y devient exceptionnellement dur. On se restreint, au contraire, si l'on peut craindre des mouvements de terrain, ou quand l'écoulement des terres remaniées, ne pouvant plus être assez rapide, provoque l'encombrement.

585 — *Mine de pyrite de fer cuprifère de Rio-Tinto (Huelva)* [2]. — La province d'Huelva, située au sud-ouest de l'Espagne, présente une zone métallifère dirigée à peu près de l'est à l'ouest, sur 20 lieues de longueur et 4 lieues de large environ. On y rencontre : à l'est, Rio-Tinto; au centre, Tharsis; à l'ouest, San-Domingo en Portugal, près de la frontière; et, en outre, une série de gîtes beaucoup moins importants. Cette zone est formée de schistes remontant à

(1) Pour interpréter ce rapport dans des cas similaires, il ne faudrait pas perdre de vue que les conditions sont ici singulièrement favorables, en raison du mutuel appui que se prêtent les travaux du découvert et de la profondeur.

(2) Cumenge, *Notes sur Rio-Tinto*, in-4°, Paris, 1883. — De Launay, Mémoire sur l'industrie du cuivre dans la région d'Huelva. *Annales*, 8e, XVI, 427. — Fuchs et de Launay, *Traité des gîtes minéraux et métallifères*, II, 299. — Dermié, Note sur les gisements et l'exploitation des pyrites de fer cuprifères de la province d'Huelva, *Bull. min.*, 3e, I, 827.— Bayo, *Memorias sobre las minas de Rio Tinto*, 1852. — Ezquerra, *Memorias sobre las minas nacionale de Rio Tinto*, 1853. — D. Antonio Anciola et D. Eloy de Cassio, *Memoria sobre las minas de Rio Tinto*, 1856. — Cassano de Prado, *Memoria sobre las minas de Rio Tinto*, 1856. — D. Ramon Rue Figueroa, *Essayo sobre la historia de las minas de Rio Tinto*, 1859. — Figueroa, *Rio Tinto*, 1868. — *Revista mineria*, I, 33, 53, 113 ; II, 97, 105 ; V, 3. — Rio Tinto, *Mining Journal*, 1877, 532. — Thomas, *Mines of Rio Tinto*, 1865. — Collins, On the minerals of the Rio Tinto Mines, *Mineralogical Magazine*, V, 211. — *Engineering and Mining Journal*, 1882, XXXIV, N° 13. — Wimmer. *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1883. — Hausmann, *Erzlager von Rio Tinto*, 1859. — *Génie civil*, VIII, 116. — Statistique de Rio-Tinto, *Revista mineria*, 16 mai 1889.

Digitized by Google

l'époque silurienne ou à celle du calcaire carbonifère. Ils ont été recoupés par des porphyres feldspathiques, que l'on pourrait rapporter à la fin de la période houillère. Ces derniers ont eux-mêmes été affectés par les éruptions permiennes de pyrite, intercalées entre le porphyre et le schiste qui devient blanc à leur contact, et traversant le porphyre en certaines places.

Le minerai forme trois masses principales : le filon du Nord, celui du Sud, et celui, encore inattaqué, de la vallée. Le premier est reconnu sur 2500 mètres environ de longueur, avec une puissance qui atteint, en certains endroits, l'énorme chiffre de 500 mètres; le second, sur 3500 mètres, avec une épaisseur maxima de 125 mètres. Ils forment ainsi d'immenses boutonnières dans la masse du terrain.

La pyrite est compacte, sans gangue distincte. Elle est partout surmontée d'un chapeau de fer, formé de terres rouges provenant d'une altération qui s'est concentrée au niveau hydrostatique des eaux de la surface. Cette réaction a déterminé un recul du cuivre dans la partie inaltérée, le sulfate de cuivre dû à l'oxydation et dissous par l'eau redescendant avec elle, pour se trouver de nouveau fixé par l'excès de soufre. Il s'ensuit un certain enrichissement de la zone supérieure voisine du chapeau, si on la compare à l'aval-pendage. Certains indices semblent en outre manifester, en dehors de cette circonstance spéciale, un enrichissement progressif avec la profondeur. La teneur moyenne, évaluée sur un million de tonnes, a été trouvée, en 1882, de 2,88 °/₀ de cuivre, avec 40 °/₀ de fer et 48 °/₀ de soufre.

586 — L'exploitation date d'une époque très reculée. Elle remonte aux Phéniciens, et peut-être plus haut encore jusqu'aux Ibères, au moins douze siècles avant notre ère[1]. Les Romains

[1] La Bible parle à diverses reprises, à l'époque de Salomon, du pays nommé Tharsis, que l'on a identifié avec la Bétique, et qui, certainement situé dans la Méditerranée, était avec Ophir, placé sur la mer Rouge ou l'océan Indien, le grand centre d'acheteurs des métaux précieux à cette époque.

Les scories phéniciennes forment à Rio-Tinto un lit distinct, au-dessous de celles de l'époque romaine caractérisées par des médailles. M. de Launay a donné un historique très intéressant de ces origines (*Annales*, 8°, XVI, 428).

Digitized by Google

ont exécuté une quantité imposante de travaux souterrains. On a reconnu plus de 300 kilomètres de galeries, des puits innombrables, et des haldes pouvant renfermer une vingtaine de millions de tonnes de scories laissées par les anciens. Ces travaux sont souvent très étriqués ; ils présentent des puits d'un mètre environ de diamètre, et des galeries d'un mètre de hauteur. Tout l'abatage a été effectué à la pointerolle. En revanche, dans certaines parties, on rencontre des vides d'une étendue et d'une hauteur extraordinaires. On y a retrouvé des roues hydrauliques dont le bois avait été conservé par une cristallisation de sulfate de cuivre.

Aujourd'hui la Compagnie de Rio-Tinto extrait 1 300 000 tonnes par an, avec un nombre d'ouvriers qui atteint 11 000, et qui à certaines époques a été porté à 14 000. Elle s'est syndiquée avec Tharsis et San-Domingo, en se réservant un cinquième de l'exportation en Angleterre, et la totalité de celle du continent européen. Rio-Tinto fournit environ le douzième de la production totale de cuivre du monde entier. On exporte la partie la plus riche des pyrites, le quart environ, et l'on traite sur place les trois autres quarts. Cette extraction se trouve répartie à peu près par égales portions entre le découvert et l'exploitation souterraine [1].

Le découvert de Rio-Tinto est gigantesque. Il se prolonge sur 550 mètres de développement, atteint au maximum une largeur de 125 mètres en pleine pyrite, sur une hauteur de 90 mètres de minerai, surmontée de 25 à 30 mètres de terres rouges. On dépèce en outre des porphyres décomposés, formant une partie du Mont-Salomon. Le front de taille présente six gradins, de 16 mètres de hauteur, sur lesquels circulent les locomotives, qui mènent sans transbordements les produits jusqu'à la mer, ou aux tas de grillage. Dans ces conditions, l'abatage se trouve singulièrement facilité. On a vu des explosions électriques fournir, d'un seul coup, 32 000 tonnes, dans une partie attaquée autrefois par piliers abandonnés, et qu'il

[1] Cette partie est prise par la méthode des piliers abandonnés. Le champ d'exploitation a pour artère principale un tunnel de 4 mètres sur 4 mètres, pratiqué en plein minerai, sur un développement de 2400 mètres. On y voit circuler les locomotives et le matériel qui conduisent les produits sans rompre charge jusqu'au port d'Huelva, à 84 kilomètres.

Digitized by Google

s'agissait de transformer en découvert. Le travail se prolonge pendant la nuit, à la clarté de plusieurs phares électriques (1).

Le prix de revient (2) est très économique, en raison du taux peu élevé de la main-d'œuvre, dont la journée moyenne est de 2 fr. 50 (3). Il peut, pour une tonne de pyrite, s'établir de la manière suivante :

Dépenses. —	Travaux à ciel ouvert.	Travaux souterrains.
	fr.	fr.
Abatage, main-d'œuvre, surveillance, explosifs . . .	0,80	2,00
Cassage, triage, chargement, transport.	1,20	1,75
Entretien des outils, du matériel roulant et de la voie.	0,50	0,75
	2,50	4,50
Amortissement du découvert et des déblais stériles. .	1,00	»
Exploitation d'une tonne de pyrite	3,50	4,50
Calcination (4), lavage, cémentation	3,20	3,20
Exploitation et traitement d'une tonne de pyrite.	6,70	7,70

587 — *Mines d'étain de Pérak (Presqu'île de Malacca)* (5). — Le royaume de Pérak est situé sur la côte occidentale de la péninsule malaise, entre le 3e et le 5e degré de latitude Nord, par 99° de longitude orientale. Il est soumis au protectorat anglais. Trois chaînes de montagnes parallèles à la mer y dessinent des vallées d'alluvion, dont celle de Pérak est la principale. Le sous-sol est granitique. Le

(1) Les torrents d'acide sulfureux dégagés par le grillage de cette masse formidable de pyrite rendent, par certains vents, le découvert inhabitable, et ont transformé la contrée en un véritable désert dans un rayon très étendu. On a cherché à diminuer cet inconvénient par l'introduction d'un nouveau procédé de traitement.

(2) Établi par M. Cumenge (*loco citato*, p. 39).

(3) Tandis qu'elle atteint le décuple en Amérique, dans des conditions de cherté précisément opposées.

(4) *Körnröstung* analogue à la méthode de grillage d'Agordo (Haton de la Goupillière, *Annales*, 5e, VIII, 407).

(5) Rapport sur les mines de Pérak par M. J. Errington de la Croix. — Habets, Exploitation d'étain de Pérak, *Exposition universelle de* 1889, groupe VIII, classe 48, p. 42. — De Morgan (Note sur l'industrie minière du royaume de Pérak, *Exploration de la presqu'île malaise*, in-4°, 1886. — *Annales*, 8e, IX, 410). — Bran de Saint-Pol Lias, L'étain, *Revue scientifique*, 1er février 1890, 141. — Germain Bapst, *L'étain*, grand in-4°, Paris, 1884.

Digitized by Google

granite blanc à tourmalines, très peu micacé, est recoupé par des filons d'étain, qui forment un réseau serré et n'ont jamais été travaillés. Les alluvions stannifères sont seules exploitées.

Le mur de la formation est un kaolin blanc. La couche riche d'argile blanche, avec rognons de quartz, présente $2^m,25$ de puissance. Un recouvrement de $7^m,50$ est formé d'argiles ou sables stériles superposés, et de terre végétale. La teneur du minerai se tient en général entre 0,008 et 0,010. Elle dépasse rarement 0,060.

Le travail se fait à ciel ouvert. On pratique une tranchée perpendiculaire à l'axe de la vallée, en rejetant le stérile en arrière. Le minerai est monté à dos d'homme, de la tranchée jusqu'à la laverie. Le travail est fait par des coolies chinois. Leurs exigences sont faibles, mais leur travail peu fructueux. Le prix du mètre cube de terres remuées s'élève jusqu'à 5 fr. 75. Le prix de revient de la *tonne d'étain métallique* se décompose de la manière suivante :

Abatage, extraction, épuisement	$875^f,20$
Préparation mécanique	$42^f,40$
Métallurgie	$232^f,60$
Amortissement, transport au port de Pinang, etc. .	$49^f,80$
Redevance à l'État	$320^f,00$
	$1520^f,00$

Le prix de vente en mars 1881 était de 2200 francs. Il a été écoulé en 1879, sur le marché de Pinang, 8800 tonnes, ce qui égale la production du Cornwall et du Devonshire.

588 — *Placers d'or de Nevada (Californie)*[1]. — L'exploitation

[1] Sauvage, *Annales*, 7e, IX, 1. — Laur, *Annales*, 6e, III, 347. — John Trask, traduit par Delesse, *Annales*, 5e, IX, 649. — Comte de Beauvoir, *Voyage autour du monde*, 860. — Lock, *l'Or, ses gisements, son extraction*, in-8°. — Whitney, *les Graviers aurifères de la Californie*, in-4°. — Blanchard and Weeks, *la Loi sur les mines, les minerais et l'exploitation par l'eau*, San Francisco. — Arthur Phillips, *The mining and metallurgy of gold and silver*, Londres, 1867, 151. — Waldeyer, *Statistics of mines, etc., of the Rocky Mountains*, 1873. — Dupont, *Les mines d'or de l'Afrique du Sud*, 1890. — Landrin, *De l'or, de son exploitation*, 1851, in-12. — Egleston, *Working placer deposits in the United States*, 1881. — Victorian Goldfields, Sandhurst (Australie), *Engineering*, 3 janvier 1890, 15.

Digitized by Google

des *placers* de Californie se fait à l'aide de l'eau sous pression, employée dans des appareils qui portent le nom de *géants*. Cette méthode, qui a pris naissance en 1852, a reçu un très grand développement; elle fait disparaître en peu de temps des collines entières. Les alluvions aurifères atteignent parfois une puissance de 80 mètres.

On commence par barrer une vallée, pour obtenir une retenue d'eau. Des canaux de 2 à 3 mètres de largeur la conduisent suivant une ligne de faible pente tracée sur le contrefort des coteaux, ou dans d'autres cas en franchissant des vallées à l'aide d'aqueducs ou de siphons. Le siphon de Cherokee, par exemple, présente 4300 mètres de longueur sur $0^m,76$ de diamètre, 299 et 253 mètres pour les altitudes de ses extrémités au-dessus de son point le plus bas. Il débite 63 mètres cubes par minute.

L'eau arrive dans un distributeur carré, d'où partent des tuyaux en tôle. Ceux-ci se terminent par des ajutages assemblés à l'aide de joints en cuir, ou même en métal. On dirige alors un jet sous pression vers le point où l'on veut déterminer une perforation. Le liquide sort du trou en bouillonnant et entraînant les matières. Un éboulement se produit bientôt. S'il le faut, on attaque par plusieurs jets convergents les points les plus résistants. En cas de nécessité, l'on s'aide de quelques fourneaux de mine enflammés par l'électricité. Telle est la marche employée dans les parties supérieures.

Pour enlever le fond du bassin, qui est précisément le plus riche, il faut modifier un peu l'attaque. On pratique un tunnel à partir du point le plus bas des vallées environnantes. Celui de North-Bloomfield, par exemple, a 2300 mètres de longueur. On rejoint cette galerie par un puits boisé, foncé au milieu du placer. On commence ensuite à déboiser la travée supérieure, et avec les lances d'eau l'on coupe le terrain, dont on détermine l'écoulement dans le puits et à travers le tunnel. Lorsque la hauteur de la formation dépasse 40 mètres, on opère en deux gradins.

Au sortir de la galerie, les eaux sont reçues dans des canaux en bois, présentant des ressauts remplis de mercure, pour y faire barboter les matières et dissoudre l'or disséminé. Après un cer-

Digitized by Google

tain nombre de passages sur le mercure, on rejette le stérile, et l'on traite l'amalgame pour en retirer l'or[1].

589 — *Mines de diamants du Cap (Afrique Australe)*[2]. — Les mines de diamants de l'Afrique australe (Kimberley, Du Toit's Pan, Bultfontein, Old de Beer's) sont au nombre des plus curieuses. Elles se trouvent situées dans le district de Griqualand West, non loin du fleuve Orange.

Les gîtes sont formés d'une roche dure, épanchée à travers de véritables boutonnières ouvertes dans le schiste, qu'elles ont relevé verticalement et étiré. La matière éruptive a formé des champignons gigantesques, dont une partie a été détruite par les érosions, et qui paraissent dus à plusieurs éruptions successives. Ces roches sont analogues aux serpentines et aux ophites. Leur teinte, altérée et jaunâtre près de la surface, est d'un noir verdâtre au-dessous. Ces matières boueuses ont dû arriver dans un état de fluidité assez marqué, et renferment des fragments de roches préexistantes très variées, arrachées de la profondeur. Tel est le gîte qui contient le diamant. On voit par là qu'il ne présente pas encore cette gemme dans les conditions de sa formation primitive, antérieure à tout remaniement.

Le type originaire d'exploitation devait ses défauts essentiels aux conditions du début. A Kimberley (fig. 408), le chantier forme une excavation à peu près elliptique, de 300 mètres sur 200 environ, avec une profondeur qui atteint, au centre, une centaine de mètres.

(1) La plupart des États de l'Union ont maintenant proscrit l'usage de cette méthode à cause de la détérioration des cours d'eau qu'elle détermine généralement.

(2) Chaper (*Sur la région diamantifère de l'Afrique australe*, in-8°, 1880. — *Les mines de diamants de l'Afrique australe*, 1892). — Moulle, Mines de diamants de l'Afrique du Sud, *Annales*, 8°, VII, 193. — Boutan (Le diamant, *Encyclopédie chimique de Frémy*. — État actuel des mines de diamant du Cap, *Génie civil*, XIV, 196). — Roordo Smit, Les mines de diamant de l'Afrique australe (*Rev. univ. d. m.*, 2°, IX, 193. — *Archives néerlandaises*, XV). — Jacobs et Nicolas Chatnan, *Monographie du diamant*, 1884. — Reunert, Les mines de diamant du Cap, *Bull. de la Soc. d'histoire naturelle d'Autun*, 1893. — Daubrée, Le diamant dans l'Afrique australe, *Journal des Savants*, décembre 1889, 740. — Lobstein, *Génie civil*, XI, 382. — *Engineering*, avril 1886, 391, 469, 529; août 1886, 29, 75, 93, 165. — Mitchell, *Diamonds and Gold of South Africa*, 1888, in-8°. — De Bovet, *Notes sur une exploitation de diamants* (Faria, Brésil), *Annales*, 8°, V, 465.

Digitized by Google

Elle s'enfonce verticalement sur le gîte de serpentine diamantifère. La surface fut divisée à l'origine en *claims*, d'un are chacun approximativement, et répartie sous cette forme entre les premiers occupants. Nul ne devait alors exploiter plus d'un claim. Depuis cette époque, la limite a été portée à dix claims, de même que certains carrés ont été subdivisés, et que l'on voit des propriétaires d'un seizième de claim. Chacun creusait pour son compte, en se débarrassant comme il pouvait de ses déblais. Il y a eu, à un certain moment, 1600 exploitations distinctes à Kimberley, dont chacune

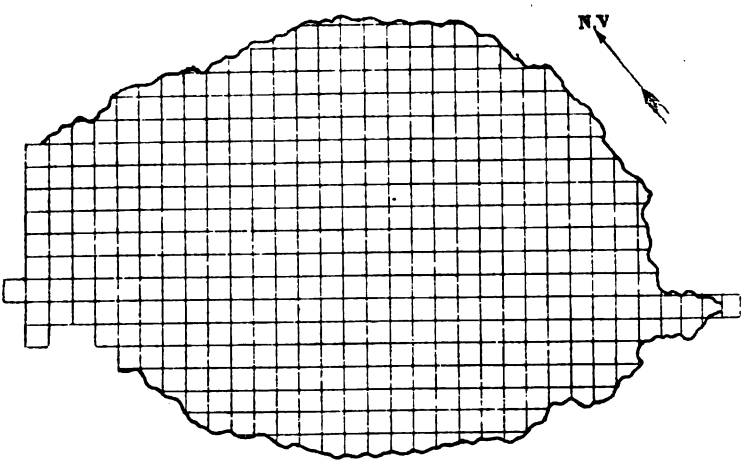


Fig. 408. — Mines de diamants du Cap (claims de Kimberley).

possédait son appareil d'extraction (fig. 409). De là une forêt de câbles, tendus entre le fond et les chefs de l'excavation, avec les roues ou les manèges correspondants. Une certaine entente avait cependant permis d'assurer à peu près le service de l'épuisement qui devenait inextricable, ainsi que l'enlèvement du *reef* qui coulait lentement de toutes parts au fond de l'excavation comme un glacier. On jetait les matières dans des puits, au pied desquels on amenait des wagons au moyen de courtes galeries. Néanmoins l'avenir de l'approfondissement paraissant entravé à brève échéance, on a fini par substituer à l'exploitation en découvert une méthode souterraine de foudroyage par tranches horizontales.

Digitized by Google

Fig. 409. — Mines de diamants du Cap (découvert de Kimberley).

Digitized by Google

590 — *Exploitations d'ambre du Samland* (1). — L'ambre jaune, ou succin, est une résine due à des conifères fossiles de l'époque secondaire. La presqu'île de Samland (Prusse) fournit les quatre cinquièmes environ de la consommation du monde entier, par une production annuelle d'une centaine de tonnes. Cette substance se trouve disséminée dans la *terre bleue*, qui appartient à l'étage éocène. Elle était exploitée dès l'antiquité. Les envois d'ambre traversaient la Germanie pour atteindre l'empire Romain.

On opère aujourd'hui d'après trois modes distincts. 1° La *cueillette* est un glanage effectué sur les plages de la Baltique. 2° La *pêche directe* au fond de la mer est effectuée au moyen de filets, ou par des plongeurs robustes et intrépides, libres ou munis de scaphandres. 3° L'*exploitation minière* remonte à la domination de l'ordre Teutonique. On la fait soit à ciel ouvert, soit à l'aide de travaux souterrains.

A la surface, on procède par tâtonnements en creusant une excavation de 4 mètres de profondeur, que l'on élargit ensuite si l'on est tombé sur un *nid d'ambre*. Quelques-unes de ces cavités ont atteint 18 mètres de hauteur et 10 mètres de largeur. On les vide en soutenant les parois au moyen de boisages. Le plus célèbre de ces puits est celui de Gluckau, près de Dantzig, dont l'activité a duré pendant 170 ans.

Aujourd'hui l'on travaille de préférence avec des dragues à Schwartzort près de Memel. Une vingtaine d'excavateurs à vapeur fonctionnent dès le printemps dans le Kürische Hoff. Les matières sont triées sur des tamis, et les stériles sont accumulés pour former des remparts contre la mer.

A Palmnichen, près de Kœnigsberg, on a institué depuis 1860 une exploitation souterraine par puits et galeries, qui est éclairée à la lumière électrique. Ces mines sont dangereuses à cause du peu de tenue du sable qui surmonte la terre bleue. Les matières que

(1) Pêche de l'ambre dans la Baltique, *Génie civil*, XV, 166. — Stoppani, *L'ambre en histoire et en géologie*, in-8°, Milan. — *Annales industrielles*, 24 février 1884, 251. — *Revue des questions scientifiques de la Société de Bruxelles*, 2e, VI, 660. — *Cosmos*, 22 juillet 1893, N° 443. — *Revue des sciences naturelles et appliquées*, 1889. — Tesdorpf, *Gewinnung. Verarbeitung und Handel des Bernsteins im Preussen von der Ordenszeit zur Gegenwart*, 1889, Iéna.

Digitized by Google

l'on en extrait sont enveloppées d'une sorte d'écorce, dont l'action de la mer a au contraire débarrassé l'ambre fourni par les procédés précédents. Une préparation mécanique sommaire, sous la forme d'un brassage violent, permet de faire disparaître cette couche superficielle.

Tous les produits sont concentrés à Kœnigsberg. La variété d'ambre la plus estimée vaut 37 fr. 50 le kilogramme. Mais les morceaux d'un poids important acquièrent une plus-value, qui a parfois porté ce chiffre jusqu'à 300 francs.

591 — *Exploitations de guano du Pérou* (1). — Les principaux dépôts de guano à la surface du globe se trouvent au Pérou et en Océanie(2). Le groupe péruvien comprend trois zones distinctes dites du Nord (côte Libertad), du Centre (îles Chincha), et du Sud (côte de Zarapaca). Ses principaux foyers d'exploitation sont Macobi, Guanape, Pabellon de Pica, Punta de Lobos, etc.

L'accumulation du guano semble remonter à une époque fort ancienne. Dans les ravins, ou *quebradas*, du terrain de granit et de gneiss, se sont formés des dépôts (*huaneras*) de matières excrémentitielles qui atteignent parfois 20 et 30 mètres d'épaisseur. Ils sont dus à une population extrêmement dense d'oiseaux d'espèces variées, appelés *guanaes*, qui étaient autrefois attirés par une active circulation de bancs poissonneux. Le climat désertique a permis à ces substances de s'amonceler sans se trouver délayées au fur et à mesure par la pluie; ce phénomène météorologique manquant à peu près complètement dans cette région. De nombreux éboulis sont mélangés avec la matière azotée. Un recouvrement général s'est

(1) Alfred Durand Claye, Les gisements de guano du Pérou, *Société des agriculteurs de France.*

Léon et Alfred Durand Claye, Note sur les gisements actuels de guano du Pérou, *Annales des Ponts et Chaussées*, 1876, 223.

Pétrequin, Exploitation du salpêtre et du guano au Chili, *Annales de la Société des sciences naturelles de Lyon*, 1881, N° 1.

Detienne, Note sur le gisement et l'exploitation du guano dans le sud du Pérou, *Rev. univ. d. m.*, 2e, IX, 401.

Pissis, *Salpêtres et guanos du désert d'Atacama*, 1877.

(2) Iles Malden (Polynésie centrale); îles Lacépède (Gouvernement d'Australie occidentale); îles Huon, Chesterfield et Ashmore (Nouvelle Calédonie). — Guanos d'Australie *Rev. univ. d. m.*, 2e. VII, 437).

Digitized by Google

finalement superposé sur une épaisseur qui varie de 7 à 14 mètres.

Humboldt, le premier, a fait connaître à l'Europe cette matière fertilisante, dont Vauquelin et Fourcroy effectuèrent de suite l'analyse. En 1844, Francisco de Rivero évaluait à 10 millions de tonnes la richesse de la zone méridionale, et à 23 millions celle des îles Chinchas, laissant d'ailleurs en dehors de cette appréciation le district du Nord. Une exploitation surmenée n'a pas tardé à provoquer un épuisement presque complet de ces richesses minières. Cependant des recherches bien dirigées feraient sans doute découvrir sous les morts-terrains des dépôts encore ignorés.

Des vestiges de travaux souterrains semblent remonter à l'époque de la domination des Incas. On retrouve des galeries de 3 mètres de large sur 1^{m},80 de hauteur. Mais les exploitations modernes ont été faites à ciel ouvert, en enlevant au préalable le recouvrement. Elles produisaient une réelle impression de grandeur, mélangée de quelque désordre.

On a essayé à un certain moment d'opérer la découverture par la méthode hydraulique, à l'aide d'une machine qui relevait l'eau de la mer. Mais le guano ainsi pénétré d'humidité, dans des conditions précisément inverses de celles des siècles passés, a subi alors une certaine altération ; et des cristallisations inutilisables pour l'agriculture ont eu pour résultat d'en diminuer la valeur.

On a dès lors repris les travaux suivant le mode ordinaire en gradins droits, et non sans quelque danger, car un nuage épais de poussière jaune répandu dans l'atmosphère cachait aux ouvriers de la partie supérieure ceux qui travaillaient à la base du chantier. Le triage des blocs stériles constituait la principale difficulté, en raison des complications de ce mélange incohérent. La masse de matière organique s'exploitait par éboulement.

Le chargement des produits sur les navires introduisait un dernier obstacle, en raison de la difficulté qu'éprouvent les marins pour accoster le rivage.

592 — *Houillères de la Vaysse (Aveyron)*[1]. — Dans les

[1] Nesterowski, *Bull. min.*, 2e, VII, 843.

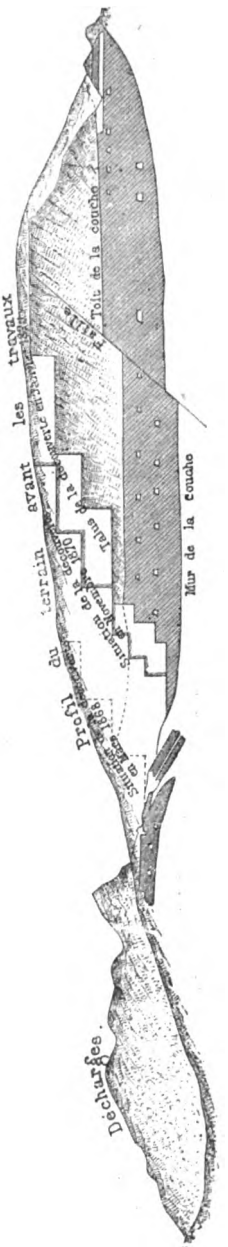
Digitized by Google

grands découverts de Decazeville (fig. 410), la couche est presque horizontale. Elle présente une trentaine de mètres de puissance, avec un recouvrement à peu près double de schistes et de grès, en partie calcinés par les incendies de l'ancienne exploitation souterraine, et d'un aspect absolument caractéristique.

Les stériles s'enlèvent en quatre tranches. La plus inférieure, de 7 mètres environ, est réservée pour suivre de près l'avancement du déhouillement, afin de préserver le plus longtemps possible le combustible de toute altération. Les trois tranches supérieures, de 15 à 20 mètres d'épaisseur, sont prises de la manière suivante.

Perpendiculairement au front de taille, on fonce 4 à 6 galeries présentant une largeur, une hauteur et un intervalle de $1^m,50$. On les relie par une recoupe, conduite parallèlement au front de taille sur les mêmes dimensions. On amincit les piliers jusqu'à ce qu'ils deviennent menaçants, et l'on y pratique des fourneaux. A la surface, on surveille attentivement les crevasses, en mesurant leurs largeurs avec de petites planchettes, de manière à pouvoir avertir, en temps utile, les hommes engagés dans l'intérieur. On abat ainsi, à l'aide de volées de coups de mine, jusqu'à 1300 mètres cubes à la fois.

La houille ne saurait être exploitée d'une manière aussi brutale. On la prend en quatre gradins de 5 à 7 mètres de hauteur. A 2 mètres du front de taille, on pratique des coups de mine de 2 mètres de profon-


Toit de la couche
Mur de la couche
Taille
Taille
Taille

deur sur 3 à 4 centimètres de diamètre, chargés de 1 kilogramme de poudre. Les produits de l'abatage sont évacués vers Decazeville, à travers un tunnel de 800 mètres de longueur environ.

593 — *Mine de lignite de Trifail* (*Styrie*). — La couche de combustible présente une épaisseur à peu près constante de 20 à 25 mètres. Elle est plissée et redressée par places. Elle repose sur l'argile plastique, et a pour recouvrement la série tertiaire. Le lignite renferme de 9 à 12 % de cendres, et peut fournir 4000 ou 4500 calories par kilogramme.

L'exploitation est mixte, et les stériles du travail à ciel ouvert sont introduits comme remblai dans la mine. Le chantier est conduit en grands gradins de 8 mètres de hauteur, tant pour le combustible qu'au milieu des morts-terrains. L'abatage est placé par là dans des conditions très faciles, et le piqueur peut produire de 8 à 10 tonnes pendant sa journée, payée 4 francs. Au contraire, le mineur, qui est chargé en outre du boisage et du remblayage à l'intérieur, ne peut fournir plus de deux tonnes et demie.

Le recouvrement est abattu à la dynamite. A 5 mètres du bord du gradin de 8 mètres de hauteur, on perce de 12 en 12 mètres des trous de $0^m,15$ de diamètre et 7 mètres de profondeur. On les charge de 40 à 50 kilogrammes de dynamite, et on les tire par volées au moyen de l'électricité. L'introduction de ce nouvel explosif a procuré une économie de 0 fr. 125 par mètre cube de calcaire en place. Mais l'avantage disparaît dans les argiles. Les chantiers occupent 500 ouvriers.

594 — *Mine de lignite de Dux* (*Bohême*)[1]. — La formation lignitifère, rattachée à l'époque éocène, s'étend presque sans interruption sur plus de 100 kilomètres, entre la base méridionale de l'Erzgebirge et le Mittelgebirge. La couche de combustible est en général unique, et sa puissance, ordinairement comprise entre 10 et 18 mètres, atteint en certaines places 38 mètres. Le sondage de Kopitz, près de Brux, l'a même traversée sur une hauteur totale

[1] Lallemand, *Annales*, 7e, XIX. 350.

Digitized by Google

de 156 mètres, ce qu'il paraît difficile d'expliquer autrement que par un redressement. Cependant le pendage est ordinairement assez faible, et reste compris entre 3 et 8°, atteignant 30° dans le Sud. La couche repose quelquefois directement sur le gneiss, et plus ordinairement sur le terrain crétacé. Elle présente des affleurements, mais la plupart du temps elle se trouve dissimulée sous un recouvrement dont l'épaisseur va jusqu'à 370 mètres.

Le gîte est exploité à ciel ouvert dans les environs de Dux. Il y

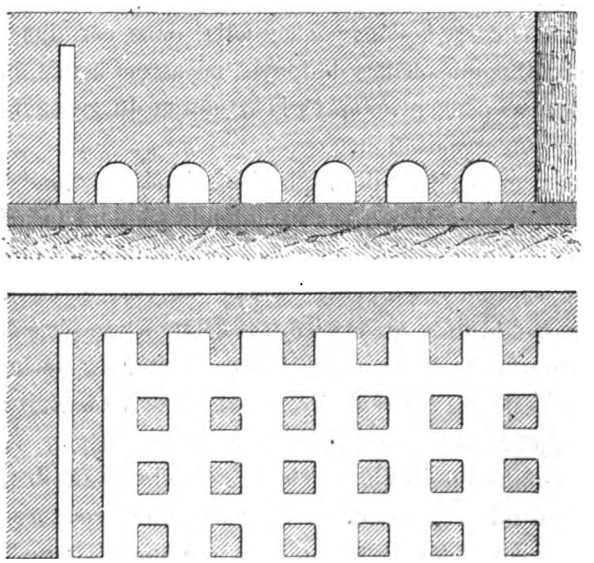


Fig. 411 et 412. — Exploitation à ciel ouvert des lignites de Bohême (coupes verticale et horizontale).

présente une vingtaine de mètres de puissance, et 4 ou 5° d'inclinaison. Le recouvrement est formé par une dizaine de mètres d'alluvions, que l'on commence par enlever, en les reportant en arrière dans la partie déjà exploitée.

Le massif dénudé est limité à une longueur de 20 mètres environ (fig. 411 et 412), à partir de la face tombée, par une galerie de 12 mètres de longueur. On la surmonte d'un exhaussement vertical qui ne va pas tout à fait jusqu'au jour. On se guide, pour cela, d'après quelques sondages effectués à partir de la surface. On perfore alors la base de ce lopin, au moyen de galeries de $2^m,50$ de largeur

Digitized by Google

et 2 mètres de hauteur, avec percements perpendiculaires, qui laissent porter toute la masse sur des piliers de $1^m,50$ de côté. Dans chacun d'eux, on pratique un coup de mine de 1 mètre à la dynamite, et l'on fait sauter tout l'ensemble par l'électricité. On réalise ainsi une très grande activité de production, et une proportion élevée de gros, environ la moitié.

595 — *Tourbières*[1]. — Les tourbières constituent le dernier terme des formations de combustible dans la série géologique. Elles s'accroissent encore, à l'époque actuelle, dans certains bas-fonds marécageux. Quelques bancs de tourbe dépassent 5 mètres de puissance. Trois cas peuvent, d'après la situation du gisement, se présenter pour son exploitation.

Supposons, en premier lieu, que des saignées profondes permettent de mettre à sec la surface exploitable pendant le printemps; la saison d'été étant réservée pour la dessiccation des produits. Le tourbier se sert alors du petit louchet (fig. 107 et 108). Le long d'une ligne droite tirée au cordeau, il détache une série de *pointes* de $0^m,30$ environ de profondeur. Un brouetteur les porte à l'étendage. Deux systèmes peuvent être suivis pour ce travail : le *mode longitudinal* et le *mode carré*.

Dans le système longitudinal, la taille s'étend en ligne droite autant que le terrain le comporte. Le long de cette première série de pointes, un second tourbier en attaque une nouvelle; un troisième en détache une autre à quelque distance, et ainsi de suite. D'après cela, la projection horizontale de l'ouvrage dessine des gradins couchés. Lorsque cet appareil a reçu un certain développement, on recommence toute l'opération pour une nouvelle tranche de $0^m,30$ de hauteur, et, après une certaine extension de son enlèvement, pour une troisième, etc. De cette manière, la coupe verticale du chantier dessinera de petits gradins droits.

[1] Ernest Bosc, *Traité complet de la tourbe*. — Peillon, *Exploitation de la tourbe* (*Annales du génie civil*, 1863). — Challeton de Bruchet, *La tourbe*. — Ribaucourt, *Instruction sur les tourbières*. — De Marsilly, Étude de la tourbe, *Annales*, 6e, XII, 347. — Haudsing, *Industrielle Torfgewinnung*. — La tourbe, son exploitation et son usage industriel, *Rev. univ. d. m.*, 2e, XIII, 518. — Ducouédic, Exploitation des tourbières, *Bull. Soc. d'enc.*, 1re, IV, 91; V, 88; XII, 276.

Digitized by Google

Dans le mode carré (fig. 413), deux tourbiers, partant d'un certain point, lèvent des pointes sur des lignes rectangulaires *ac*, *bc*, se rencontrant en *c*; a_1c_1, b_1c_1, se rencontrant en c_1; et ainsi de suite. Lorsque le carré ainsi dénudé a pris une certaine extension, on attaque de la même manière une seconde tranche, puis une troisième, etc., en taillant la masse en gradins droits.

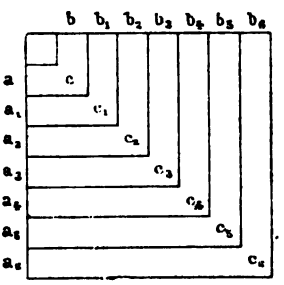


Fig. 413.

Il s'en faut de beaucoup que la rigueur de cette description s'observe effectivement dans les tourbières. Ce serait d'ailleurs, la plupart du temps, véritablement impossible; mais on pourrait tout au moins y apporter plus d'ordre qu'on ne le fait trop souvent. Les observations générales qui ont été présentées plus haut (N° 391) sur la nécessité de suivre un bon plan d'ensemble pour une exploitation minérale, prennent ici une importance spéciale à cause des difficultés dues à la présence de l'eau, tant au point de vue du gaspillage du gîte, et même de sa perte irrémédiable, qu'en ce qui concerne la salubrité publique, souvent compromise par la création de surfaces paludéennes, due à une mauvaise conduite des opérations.

Supposons, en second lieu, que la surface du sol se trouve presque au niveau de l'eau, et que celle-ci soit profonde le long de tranchées verticales qui se tiennent convenablement. On emploie alors le grand louchet (fig. 109 et 110) pour enlever d'un seul coup, sur $0^m,10$ de côté en carré, une hauteur de trois ou quatre pointes. Quand le tourbier a déposé ces prismes sur la berge, on les fractionne, et le brouetteur les porte à l'étendage. L'ouvrier se tiendra au besoin, pour mieux répartir la pression de son poids, sur une planche placée le long du bord du front de taille.

Lorsque le champ d'exploitation ne peut être aménagé en massifs d'une manière aussi nette, et qu'il renferme de vastes étendues d'eau, on emploie un troisième système, en le parcourant en barque, et curant le fond avec une drague (fig. 127). On ramène ainsi une sorte de bouillie de tourbe, que l'on égoutte

Digitized by Google

un instant, et que l'on verse dans le bateau, puis de là sur le rivage.

596 — C'est alors que commencent les opérations de préparation ultérieure.

La bouillie de tourbe est répandue sur le pré, dans des caissons formés de planches posées de champ. Quand elle s'est ressuyée et raffermie, des hommes la *marchent*, d'abord avec des planchettes attachées sous les pieds, puis pieds nus. On la découpe alors à la bêche, ou bien on la comprime dans des moules de briquetier. Les briquettes vont ensuite à l'étendage.

Cette dernière opération leur est commune avec les pointes obtenues directement à l'aide des louchets. Celles-ci occupant à peu près autant de place à l'étendage que dans la formation même, en raison des déchets et de l'empilage, il faut se procurer, pour chaque hectare d'exploitation, autant d'hectares de dessiccation que l'on tire de pointes superposées. On fait ordinairement quatre étendages successifs, en retournant les pointes pour les exposer à l'insolation sur leurs diverses faces. Les tas correspondant à ces phases successives du traitement portent les noms de *pilets*, *cantelets*, *haies* et *piles*. On y multiplie les claires-voies dans le sein de la masse, en vue de ménager la libre circulation de l'air.

Le dernier empilage est le plus important. Trop verte, la tourbe ne séchera plus, et fournira un mauvais combustible. Trop sèche, elle s'effrite, et donne beaucoup de déchet avant la vente. Les tas non écoulés avant la mauvaise saison sont recouverts de roseaux ou de chaume pour passer l'hiver.

597 — Pendant la dessiccation, la tourbe éprouve un retrait de 60 à 70 %. On compte environ mille pointes séchées dans un mètre cube, pesant, suivant la variation des vides et de l'humidité, entre 250 et 450 kilogrammes. Cette quantité est fournie par $1^{m^3},5$ de massif. Elle revient à 4 fr. 50; soit 3 francs pour le mètre cube en place. Il faut en outre ajouter à ce chiffre, à titre de frais généraux, l'indemnité de surface, variable dans chaque cas avec les circonstances et la puissance exploitable.

Digitized by Google

La production de la tourbe en France a été dans ces derniers temps (en milliers de tonnes) :

1871	327
1875	318
1880	248
1885	190
1890	158
1891	168
1892	168
1893	174

En 1893 (1), on y comptait 2917 exploitations distinctes, réparties en 543 tourbières. Les départements dont la production a dépassé 5000 tonnes pendant cette même année sont les suivants :

Somme	79 610	tonnes.
Loire-Inférieure	20 460	—
Oise	17 170	—
Aisne	11 950	—
Isère	11 240	—
Pas-de-Calais	9 450	—
Doubs	6 500	—

On peut estimer à une vingtaine de mille le nombre de personnes, hommes, femmes ou enfants, occupées pendant la saison à cette exploitation. Le prix moyen de la tonne de tourbe, qui était de 10 fr. 85 en 1890, s'est élevé à 13 fr. 20 en 1893.

598 — *Exemples divers.* — Je mentionnerai encore, en terminant, un certain nombre d'exemples intéressants soit par l'étendue des travaux, soit par la rareté des gîtes.

En ce qui concerne les carrières (2) : les meulières de la Ferté-sous-Jouarre; les ardoisières de Travassac (Corrèze), et de Rochefort en-Terre (Morbihan); les grès d'Orsay, de Melun; les plâtrières de Sannois; les phosphates du Lot, des Ardennes; les calcaires lithographiques de Solenhofen (Bavière); les marbres de Sablé (Sarthe);

(1) Statistique minérale pour l'année 1893.

(2) Il existe en France plus de 33000 carrières à ciel ouvert, occupant 100500 ouvriers. — Dunkel, *Les carrières de Paris*, in-4°.

Digitized by Google

les mines d'amiante du Canada [1]; la serpentine chromifère des Quayrades dans la baie de Cavalaire (Var); les kaolins de la Lizolle (Allier), et ceux de Saint-Yrieix (Haute-Vienne); la roche glissante du Pouzin (Ardèche) [2].

Parmi les charbonnages : les découverts d'Aubin (le Volcan), Commentry, le Creusot, Montceau-les-Mines, Saint-Eloy, Belmez (la Terrible), Csimpo (Petroseny, Transylvanie), Dombrowa (Nova).

Comme sels et substances diverses : les salpêtres (de soude) du Pérou, l'alunite de la Tolfa (Civita-Vecchia), le spath d'Islande [3], la boracite du Colorado, les rubis de Burma [4], le bitume du lac de la Braie (île de la Trinité) [5], les schistes bitumineux de Menat (Puy-de-Dôme), ceux de l'Allier et de l'Autunois.

Parmi les mines de fer : les mines en sac du Berry, de Champagne, de Franche-Comté; les mines en masse de Filhols (Pyrénées-Orientales), Eisenerz (Styrie), Erzberg, Dannemora [6], Norberg, Nordmark, Taberg (Suède), Rio (île d'Elbe), Amélia (Moravitza, Banat).

En ce qui concerne les autres métaux : les gîtes calaminaires de Moresnet (Vieille-Montagne), Saint-Laurent-le-Minier (Gard); les grès imprégnés de galène de Commern et de Mechernich (pays de Siegen) [7]; les poudingues de Marbach (Cologne) mélangés de carbonate de plomb; le silicate de nickel de la Nouvelle-Calédonie [8]; les pyrites cuprifères de Tharsis (Huelva); la mine de cuivre de Paris (Anglesey); le cinabre de Sulphurbank (Californie); les alluvions d'étain de Cornouailles, de Saxe; les sables platinifères de Russie; la mine d'argent d'Arendal (Norwège); les placers d'or de Victoria, de la Guyane, de Sibérie.

(1) Ladureau. *La Nature*, 7 mars 1896, p. 209.

(2) Cette masse glisse sur sa base, en descendant lentement sur le bourg de ce nom, qu'elle resserre contre le Rhône. On a déjà dépilé plus de 200 000 mètres cubes pour s'opposer à cet envahissement.

(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, CV, 1144.

(4) Shelton Streeter, Mines de rubis de Burma, *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, IV, 256.

(5) Cumenge (*Annales*, 8e, I, 137).

(6) Le filon de Dannemora est foncé en gradins droits sur 300 mètres de longueur, 30 à 50 mètres de largeur, avec des parois à pic de 150 mètres de hauteur.

(7) Dr Gurlt, *Die Bergbau und Hüttenkunde*, 41.

(8) Porcheron, *Bull. min.*, 2e, XIV, 98, — Benoit, *Ibidem*, 3e, VI, 762. — Babu, *Annales*, 8e, VI, 595. — Garnier, *Carte géologique de la Nouvelle-Calédonie*.

Digitized by Google

CINQUIÈME PARTIE

ROULAGE

CHAPITRE XXIV

MOYENS DIVERS DE TRANSPORT

§ 1

TRANSPORT A CIEL OUVERT

599 — *Brouette.* — Nous avons, dès le début, établi dans ce Cours deux divisions fondamentales, concernant d'une part l'attaque de la masse, et de l'autre les transports de toute nature, tant en ce qui concerne la matière utile, objet de l'exploitation, que pour les stériles dont on est obligé de se débarrasser accessoirement, et les matériaux auxiliaires que l'on se trouve conduit à introduire du dehors : bois, briques, moellons, mortier, panneaux, tuyaux, rails, machines, outils, explosifs, etc.; sans compter les liquides et les gaz, dont nous nous occuperons dans la septième et la huitième partie, ainsi que les hommes et les chevaux, dont le transport fera l'objet du chapitre XXXVI.

Nous avons également, en ce qui concerne le mouvement des solides, établi une distinction fondamentale, selon qu'il s'agit, soit de lutter uniquement contre la gravité dans un parcours

Digitized by Google

rigoureusement vertical, ce qui constitue le problème de l'*extraction*, objet de la sixième partie de ce Cours; soit au contraire d'une trajectoire horizontale, ou tout au moins douée d'une projection horizontale autre qu'un simple point. C'est la question du *roulage*, dont nous avons à nous occuper en ce moment.

Il y a lieu de distinguer le roulage à ciel ouvert et le roulage souterrain. Le premier forme le complément nécessaire du chapitre précédent, et constituera une transition naturelle entre les deux ordres de considérations qui se partagent ce Cours.

600 — On emploie, dans les exploitations à ciel ouvert, trois véhicules distincts, suivant l'importance des déblais, et la distance qui sépare le chantier de la place de dépôt : la *brouette*, le *tombereau*, le *wagon*.

Dans le système du brouettage figurent trois sortes d'ouvriers : les *piocheurs*, les *chargeurs* et les *rouleurs*. Le nombre absolu des piocheurs dépend de l'activité que l'on veut imprimer à la fouille. Nous devons l'envisager en ce moment comme un élément arbitraire, et nous occuper seulement de régler les rapports des deux autres catégories à la première.

Le nombre des chargeurs est proportionnel à celui des piocheurs, dont ils ont à enlever les déblais. Ce rapport doit être considéré comme étroitement lié à la nature du terrain. L'opération du chargement est en effet assez uniforme, tandis que les résultats du piochage dans un temps donné dépendent essentiellement de la matière qu'il s'agit d'ameublir. Pour déterminer cet élément dans chaque cas, on fait piocher, en le surveillant, un homme de force moyenne pendant un temps quelconque que je désignerai par t. On fait ensuite charger cette terre dans des brouettes par un chargeur, que l'on prend également dans des conditions moyennes, et qui emploiera un temps t' pour cette opération. On évalue le rapport $\frac{t}{t'}$. Supposons-le représenté par un nombre entier n. Il est clair que, pour que le travail s'opère sans discontinuité au chantier, il y faudra associer chaque chargeur avec un groupe de n piocheurs. On dit alors que *la terre est de* $n+1$ *hommes à la fouille*. Si le

Digitized by Google

rapport est fractionnaire, sous la forme irréductible $\frac{p}{q}$, on devra prendre p piocheurs pour q chargeurs.

601 — Il reste, en second lieu, à fixer le nombre des rouleurs. Ce chiffre sera d'une part proportionnel à la distance à parcourir, et de l'autre au nombre des chargeurs qu'il s'agit de desservir. On peut le considérer, à l'inverse du précédent, comme indépendant de la nature de la roche.

En ce qui concerne la distance, sa détermination repose sur certaines données précises d'observation, sensiblement constantes. Une brouette contient utilement 50 litres de matériaux foisonnés, correspondant à $\frac{1}{30}$ de mètre cube environ, et pesant 70 kilogrammes. Le véhicule pèse vide 30 kilogrammes, et par conséquent 100 kilogrammes quand il est plein. Mais l'effort suspendu sur les bras du rouleur doit être réduit dans le rapport inverse des distances comprises entre l'essieu d'une part, et de l'autre le centre de gravité du véhicule, ainsi que les mains de l'ouvrier. Il est à peu près de 18 à 20 kilogrammes, dont moitié pour chacun des deux bras de l'homme. Il est bon à cet égard d'employer de longs brancards et des bords évasés, qui reportent la charge aussi en avant que possible vers l'axe. La force impulsive horizontale est beaucoup moindre encore. On peut admettre pour sa valeur, en terrain sec et uni, 2 à 3 kilogrammes. Si le sol devient difficile, le tirage augmente beaucoup, à moins que l'on ne puisse disposer, dans les mauvaises passes, un cours de planches en prolongement les unes des autres.

Pendant la durée du chargement d'une brouette, un rouleur a le temps de parcourir 60 mètres, en conduisant les terres à 30 mètres de distance, et revenant à vide. Il serait d'ailleurs mal à propos de lui faire effectuer en charge un parcours indéfini, suivi du même retour à vide. La fatigue s'accumulerait plus que proportionnellement au temps pour le premier voyage, et le second n'utiliserait pas suffisamment la force disponible du rouleur. On dispose donc des relais tous les 30 mètres, et chaque brouetteur parcourt indéfiniment la même travée dans les deux sens. Le retour à vide le

Digitized by Google

repose périodiquement de la fatigue du premier trajet, indépendamment du temps nécessaire pour l'échange des brouettes, qui se meuvent toujours dans le même sens, et ne rebroussent chemin qu'au chantier et à la place de dépôt.

Le nombre effectif des rouleurs s'obtiendra donc en multipliant celui des chargeurs par le quotient de la division du trajet entier par 30 mètres. Quant au nombre des brouettes, il est égal à la somme des nombres de rouleurs et de chargeurs, avec l'appoint nécessaire pour tenir compte des fausses manœuvres et des réparations.

Lorsque le terrain monte, on ne peut admettre des rampes supérieures à $\frac{1}{12}$, et dans ce cas le relai doit être réduit à 20 mètres. Si la pente est descendante, on lui laisse sa valeur normale de 30 mètres, en admettant que la fatigue nécessaire pour remonter la brouette vide, est compensée par un certain soulagement à la descente de la brouette pleine, en raison de la gravité.

Dans sa journée, un rouleur fait environ 450 voyages doubles, et transporte 15 mètres cubes. C'est donc également, d'après ce qui précède, la quantité que peut pelleter le chargeur.

602 — L'*effet utile*, dans les questions de transport, étant à la fois en raison du poids et de la distance à laquelle celui-ci se trouve porté, peut se mesurer par le produit de ces deux facteurs. Si l'on évalue le poids en tonnes, et la distance en kilomètres, l'unité d'effet utile correspondra au *transport d'une tonne à un kilomètre.* On l'appelle *tonne-kilométrique.*

Bien que cette quantité se présente dans les calculs d'après le même ordre d'homogénéité que le travail dynamique, elle ne saurait être confondue avec lui. A l'égard du kilogrammètre, la force et la longueur que l'on associe par la multiplication, sont en même sens; avec la tonne kilométrique, elles sont perpendiculaires. En outre la valeur brute, indépendamment de son application concrète, est un million de fois plus grande pour la seconde unité qu'avec la première. Pour employer, en ce qui concerne le brouettage, le second ordre d'appréciations, il faudrait envisager le produit de la force impulsive (en kilogrammes) par le parcours (en mètres), de

Digitized by Google

manière à mesurer (en kilogrammètres) le travail du manœuvre. Cette question peut présenter de l'intérêt quant à l'appréciation des moyens mis en œuvre, mais le résultat seul entre en ligne de compte, lorsqu'il s'agit d'effectuer la comparaison des divers modes de transport, et c'est lui que l'on exprime en tonnes kilométriques.

Dans le cas du brouettage, l'effet utile ainsi mesuré sera donc pour la journée du rouleur :

$$(450 . 0^{\text{kilom.}},030) . 0^{\text{tonne}},070 = 0^{\text{tonne kilom.}},945.$$

Pratiquement, on admet $\frac{4}{5}$ ou 1 tonne kilométrique. A raison de 3 francs de salaire, le prix de cette unité ressortira ainsi à 3 francs au minimum. Quant au travail dynamique, il aura comme valeur, si l'on admet l'effort impulsif de 3 kilogrammes :

$$(450 . 30^{\text{m}}) . 3^{\text{kg}} = 40\,500^{\text{kgm}},$$

à quoi il convient d'ajouter un certain appoint, en raison du travail développé pour le retour à vide[1].

603 — Comme intermédiaire entre le brouettage et l'usage du tombereau à cheval, on peut indiquer l'emploi de petites *charrettes à bras*, qui est usité dans certaines carrières, mais ne mérite pas de nous arrêter longuement.

604 — *Tombereau.* — Un tombereau, pour un cheval et une route médiocres, peut être chargé de 5 hectolitres de terre ameublie, et avec des conditions meilleures, de 8 hectolitres. Un cheval peut conduire dans sa journée $0^{\text{tonne}},7$ ou 1 tonne, sur une distance de 10 ou 12 kilomètres, d'où un total de 7 à 12 tonnes kilométriques. A raison de 6 francs pour la journée du cheval et du conducteur, le prix d'unité s'abaisse ainsi à 0 fr. 50.

Le cheval s'avance au pas à raison d'une vitesse de 40 à 50 mètres *par minute*, avec une allure sensiblement égale à plein ou à vide.

[1] En effet, dans son *aide-mémoire* (page 14), Claudel indique, pour le brouettage, le chiffre de 43 200 kilogrammètres.

Digitized by Google

Il peut marcher pendant 8 heures, avec 2 heures de repos fractionnées, soit un total de 10 heures. Il faudra d'après cela que le chargement, qui constitue ces repos, dure en principe le quart du temps employé au trajet. Celui-ci étant une donnée directe dans chaque cas, fera connaître par approximation la durée du chargement, et par conséquent le nombre de chargeurs, puisque la capacité à remplir est également déterminée *a priori*. Ce nombre ne doit d'ailleurs pas dépasser 4, sous peine de confusion.

Un homme peut, dans sa journée, pelleter à cette hauteur 12 mètres cubes de terre ameublie. En ce qui concerne le déchargement à la place de dépôt, on tient compte de deux minutes permettant d'ôter le fond, débarrer le châssis, verser en arrière, racler, avancer la voiture, relever la caisse, rembarrer et remettre le fond.

Ces diverses conditions, pour rester suffisamment compatibles les unes avec les autres, imposent des limites à la distance à parcourir. Sur de trop courtes distances, le brouettage est préférable. Au delà de 300 ou 400 mètres, on trouvera souvent avantage, dans un chantier d'une certaine importance, à substituer au transport par tombereau l'emploi des rails [1].

605 — *Wagon.* — La voie d'un *chemin de fer de terrassement* s'établit suivant les principes généraux que nous développerons dans le chapitre XXV pour les *chemins de fer de mine*, mais d'une manière beaucoup plus sommaire. Ce mode de transport peut devenir avantageux, même sur d'assez courtes distances, lorsque la pente est suffisante pour laisser descendre les trains sans moteur, par la seule action de la gravité. Un cheval remonte ensuite à la fois un certain nombre de wagons vides. Afin de maîtriser la descente, on munit les véhicules, ou du moins quelques-uns d'entre eux, de freins. Le conducteur, monté sur l'arrière du wagonnet, pèse d'un pied sur l'extrémité d'un long levier, pour engager plus ou moins ce frein. Au besoin, l'on peut embarrer une ou plusieurs roues, de manière à y substituer le frotte-

[1] Dans certaines exploitations, on se sert du charretage à bœufs. A Bilbao, la tonne kilométrique revient, avec ce procédé, à 1 fr. 40 ou 1 fr. 80.

Digitized by Google

tement à la résistance au roulement, qui est beaucoup moindre.

Les wagonnets ont des roues basses, pour faciliter le chargement, et des essieux rapprochés, afin de pouvoir passer dans des courbes un peu raides. La caisse est articulée de manière à basculer en avant autour de l'essieu antérieur, ou latéralement sur une charnière longitudinale, en vue d'opérer le déversement soit en tête de ligne, soit sur les côtés. On peut également l'effectuer *en baleine*. On dispose alors en prolongement de la tête du remblai une charpente volante, supportant une voie aérienne. Le fond des caisses est mobile, et peut s'ouvrir à l'aide de charnières disposées suivant les longs côtés. En déclavetant ce fond, on fait basculer ses deux parties par le poids des terres, qui tombent dans le vide.

Ces véhicules, de calibre variable, contiennent en général 1 ou 2 et même 3 mètres cubes. Ils pèsent vides 300 kilogrammes, avec un chargement de 1500 kgr.; ou jusqu'à 1200 kgr., pour charrier 3000 kgr. de déblais.

Avec un emploi judicieux de ce moyen de transport, on a pu, dans certains cas, abaisser jusqu'à 0 fr. 25 le prix du transport *d'un mètre cube à un kilomètre*, qu'il faut avoir soin de ne pas confondre avec la tonne kilométrique.

§ 2

PORTAGE A DOS

606 — Les transports miniers s'effectuent d'après un certain nombre de moyens distincts, que nous résumerons dans le tableau suivant :

Portage a dos.
Trainage.
Brouettage souterrain.
Chien de mine.
Navigation souterraine.
Chemin de fer.
Circulation aérienne.

Digitized by Google

Le plus élémentaire est le *portage à dos d'homme.* Il a été nécessairement le plus ancien de tous; et bien que l'on doive le considérer tout à la fois comme inhumain et anti-économique, il est loin d'avoir disparu. Il convient même d'ajouter qu'il ne disparaîtra sans doute jamais totalement, car ces deux défauts disparaissent dans certains cas spéciaux, lorsqu'il s'agit de transporter des matières qui présentent une grande valeur sous un faible poids, et par des voies absolument irrégulières dont l'appropriation au mouvement des véhicules exigerait des déboursés que l'on peut éviter en les faisant seulement parcourir par des hommes. Une circonstance analogue peut encore se présenter dans certains travaux de recherches, pour lesquels on ne veut pas développer la dépense avant d'être fixé sur leur avenir.

Mais en dehors de ces conditions exceptionnelles, le portage à dos doit être rejeté comme absolument barbare. Jusqu'en 1843, l'extraction de certaines houillères d'Écosse se faisait encore par des femmes et des filles, qui montaient aux échelles avec des hottes, au risque d'être tuées ou blessées par la chute des fragments de charbon [1].

Dans la première partie de ce siècle, les *sorteurs* de Saint-Étienne [2] s'acheminaient courbés sous le poids d'un sac, qu'ils retenaient sur leur dos au moyen d'une corde serrée entre les dents, afin de conserver l'usage des deux mains pour leur lampe et leur béquille. Ils portaient ainsi des charges de 40 à 60 kilogrammes, pouvant même atteindre 70 kilogrammes, et parcouraient 4 à 6 kilomètres par jour. De là un rendement de $\frac{1}{5}$ à $\frac{2}{5}$ de tonne kilométrique. A raison d'un salaire de 2 fr. 50 par jour, le prix de la tonne kilométrique ressortait à 10 francs environ.

Jusqu'en 1859, le sortage d'une partie des minerais d'Allevard s'opérait en attachant simplement les plus gros morceaux au corps de l'homme.

Les *mendits* de Trets (Bouches-du-Rhône), il y a peu d'années encore, se courbaient horizontalement, en se soutenant des deux mains sur deux courtes béquilles, dans des galeries éclairées par

[1] *Les Mondes*, XXXIII, 242. — Simonin, *La vie souterraine*, p. 119.
[2] Combes, *Traité d'exploitation*. — Burat, *Traité d'exploitation*.

Digitized by Google

des feux fixes. Ils portaient en équilibre sur leur dos un panier, contenant environ 50 kilogrammes de lignite. Ils parcouraient ainsi, à chaque voyage, 200 mètres dans le sens horizontal et 15 mètres verticalement. Le rendement revenait à un tiers de tonne kilométrique.

Les *courbatiers* des Pyrénées (1) portent 60 kilogrammes, et parfois des charges qui approchent de 100 kilogrammes formées de minerais métalliques, très lourds sous un faible volume.

Les soufrières de Sicile, dont l'exploitation est absolument primitive, n'ont pas d'autre moyen de sortage que le portage à dos à travers des passages tortueux, glissants et très inclinés (2). Les mineurs portent de 20 à 30 kilogrammes, suivant leur âge.

Dans les mines d'étain de Pérak (Malacca), les coolies chinois chargent le minerai dans des paniers suspendus aux deux extrémités d'un bâton placé sur l'épaule. Le bas prix de la main-d'œuvre (un tiers de florin par jour) retarde encore l'emploi des moyens mécaniques (3).

Dans certaines mines américaines de métaux précieux, les Indiens s'attachent au corps de petits paquets de minerai, de manière à conserver l'usage de leurs membres pour la gymnastique nécessaire dans ces circuits difficiles. Les *tenateros* de la mine de Valentiana (Mexique) portaient autrefois, pendant six heures (4), des charges de plus de 100 kilogrammes, à travers des passages d'une inclinaison supérieure à 30°. Le portage à dos est encore le seul moyen en usage pour tout le district des mines d'argent du Cerro de Pasco (Pérou), qui renferme sans doute les mines les plus élevées du monde : 4300 mètres au-dessus du niveau de la mer.

On peut encore rattacher à ce mode de transport, celui qui se fait à bras dans beaucoup de mines, au moyen de *raisses*, entre le front de taille et la cheminée pour les ouvrages à gradins, ou le chariot sur la voie ferrée avec les autres méthodes.

A Somorostro, les femmes portent sur leur tête des charges de

(1) Rancié (Ariège), Pierrefitte (Hautes-Pyrénées), etc.
(2) Ledoux, *Annales*, 7e, VII, 36.
(3) Habets, *Exposition d'Amsterdam* de 1883, gr. VIII, cl. 48, p. 43.
(4) Évrard, *Moyens de transports*, I, 96.

Digitized by Google

40 kilogrammes, et à Saint-Yrieix des poids beaucoup moindres.

On utilise le *muletage* à Somorostro, à Rancié (Ariège). Une mule peut porter facilement 120 kilogrammes.

§ 3

TRAINAGE

607 — Le traînage sur le sol, par glissement simple, s'effectue à l'aide de *bennes à patins*. On désigne sous ce nom des cuveaux, ou des paniers, munis de deux patins de fer ou de bois (fig. 414). Le traîneur les tire avec une corde attachée à une ceinture de cuir, à une bandoulière, ou à une bricole. En plaçant un peu haut sur le corps de l'homme le point d'attache, on communique à la force de traction une composante verticale, qui tend à soulever l'avant des patins, et les aide à franchir les petits obstacles de la voie.

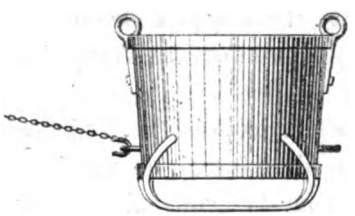


Fig. 414. — Benne à patins.

A l'inverse du portage à dos, pour lequel la galerie peut rester quelconque, sous la réserve qu'elle ne présente pas de difficultés excessives, le traînage se trouve en relation étroite avec l'état de la sole. Trop dure, elle use les patins; trop molle, elle les embourbe et se laisse entamer par eux.

Elle ne doit offrir que des inclinaisons modérées. C'est la raison d'être des traçages en demi-pente (N° 457), lorsque le gîte se redresse au delà d'une certaine limite. On réduit alors la charge, et l'ouvrier résiste en se plaçant devant le panier, et se laissant pousser à reculons vers le pied du talus. D'autres fois il se tient au contraire à l'arrière dans une situation moins dangereuse, et guide sa benne avec un crochet appelé *gouvernail*. Il gravit au retour la même rampe en sens inverse, en se courbant et portant sur le dos son panier, en carapace de tortue.

Digitized by Google

Il ne doit y avoir aucune rampe remontée en charge. S'il est impossible de les éviter, elles doivent être du moins très courtes. On y installe alors un pousseur, ou bien l'on dispose à la partie supérieure une poulie de renvoi. L'ouvrier attache son panier à une corde passée sur cette poulie. Il monte seul au sommet, puis il redescend en tirant sur cette corde, et agissant en même temps par le poids de son corps. Il remonte ensuite, détache le panier et continue son parcours. On peut également ménager en ces points une *rencontre*. Les deux paniers sont alors attachés à la même corde, et les traîneurs les accompagnent sur la pente, en agissant de concert.

Le traînage présente l'avantage de supprimer l'approchage du charbon, à la pelle ou dans des raisses, jusqu'à la voie ferrée disposée près du front de taille. Les paniers à patins sont, pour la desserte d'un atelier, plus indépendants que les wagonnets; ils permettent des sections plus étroites dans le chantier et à ses abords.

La charge peut varier, en palier, entre 60 et 120 kilogrammes, sur un parcours quotidien de 6 kilomètres par homme. L'effet utile journalier oscille lui-même entre $\frac{1}{4}$ et 1 tonne kilométrique. Quelquefois le traînage est effectué par des chevaux avec une grande benne, ou un train formé de deux plus petites. On traîne ainsi de 200 à 700 kilogrammes, sur un parcours de 5 kilomètres, avec un rendement de 2 à 2,5 tonnes kilométriques. Si au contraire on emploie des enfants pour le traînage, les chiffres s'abaissent beaucoup, et l'on ne peut guère compter que sur $\frac{1}{5}$ de tonne kilométrique. L'unité d'effet utile peut par suite varier depuis une dizaine de francs pour ce dernier cas, jusqu'à 2 fr. 50 avec l'emploi des chevaux.

§ 4

BROUETTAGE SOUTERRAIN

608 — Le brouettage présente sur le traînage l'avantage de localiser le glissement à la circonférence de l'essieu, et non plus de

Digitized by Google

la jante. Le travail se trouve donc réduit dans le rapport des rayons. Tout au plus s'ajoute-t-il, en sens inverse, le travail négatif de la résistance au roulement; mais ce dernier est relativement faible.

On emploie soit la brouette ordinaire, soit une brouette sans pieds; parfois des brouettes fermées à l'arrière, en forme de caisse ouverte seulement vers le haut. La charge peut être portée jusqu'à 100 kilogrammes, si le véhicule est judicieusement disposé; mais souvent elle atteint à peine les deux tiers de ce chiffre.

L'effet utile est moindre que pour le brouetteur de la surface, à cause des conditions moins favorables de l'intérieur. Les relais ne dépassent pas 20 mètres. Le rendement varie entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{3}{4}$ de tonne kilométrique. On peut l'améliorer, en posant sur la sole un cours de planches, et approcher ainsi de 1 tonne kilométrique.

§ 5

CHIENS DE MINE

609 — Les *chemins de bois* ont été, pendant les derniers siècles, le moyen de locomotion par excellence des mines allemandes. Ils figurent encore à Schemnitz et dans quelques autres exploitations métalliques, quoiqu'ils soient de plus en plus en voie de diminution devant l'emploi des chemins de fer.

La voie est formée de deux longrines longitudinales, de $0^m,10$ de large et $0^m,05$ d'épaisseur. Elles sont chevillées sur des traverses posées à terre. Leur écartement, bien différent de celui des rails de chemin de fer, n'est que de *trois centimètres*. Il sert à guider le véhicule au moyen du *clou*, petite tige de fer qui pend verticalement sous l'essieu (fig. 415, 416). Dans les coudes, le parement concave est garni de tôle, afin de prévenir l'usure due au frottement du clou, en raison de la force centrifuge. Lorsque les longrines arrivent à être attaquées en forme d'ornières, on les retourne pour leur faire fournir une nouvelle campagne, moins prolongée que la première.

Le véhicule porte le nom, consacré par une pratique immémo-

Digitized by Google

riale, de *chien de mine*[1]. Il consiste en une caisse parallélépipédique; étroite, en raison du peu de largeur des galeries et du rapprochement des roues, qui doivent reposer sur les longrines; longue, pour racheter l'exiguïté de la dimension transversale. Les roulettes sont placées sous la caisse, afin de ne pas diminuer sa largeur. Elles sont petites, pour éviter d'augmenter la hauteur d'ensemble, ou de réduire d'autant celle de la caisse elle-même. Celles de devant sont encore moindres que les autres, et leur essieu se place tout à fait à la partie antérieure, en vue de faciliter

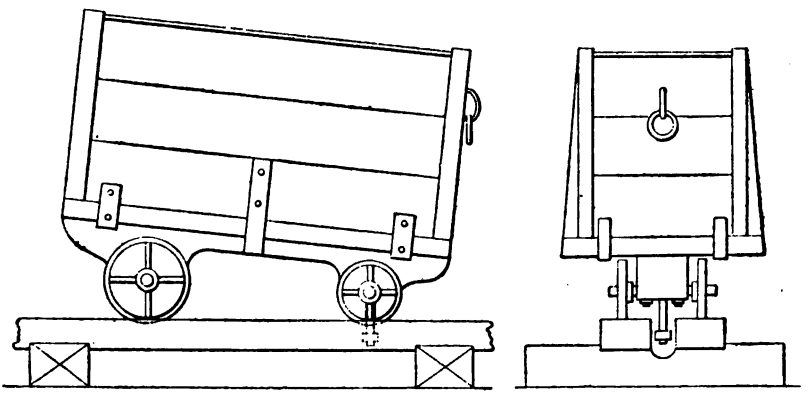


Fig. 415 et 416. — Chien de mine (élévation latérale et antérieure).

le basculement du chien quand on veut le vider en avant. L'essieu de derrière est plus rapproché du centre de gravité. De cette manière le véhicule se trouve presque équilibré. Le rouleur s'appuie sur l'arrière, afin de soulager l'avant et de faciliter le roulement des petites roues. Si le chien est trop grand pour être basculé en avant, sa face antérieure est rendue mobile autour d'une charnière transversale, placée à la partie supérieure. En déclavetant à la base cette paroi, on la fait ouvrir par la pression de la charge, qui s'écoule au dehors. Le véhicule se trouvant ainsi allégé, il devient possible de soulever l'arrière, pour compléter le déchargement. Lorsque deux rouleurs se rencontrent dans les galeries, on bascule sur le côté le chien vide, afin de laisser passer celui qui

[1] En Allemagne : *Hund*; en Angleterre : *Dog*.

Digitized by Google

est chargé. En raison de manœuvres aussi brutales et du choc de blocs très lourds, il est indispensable que ce véhicule soit établi d'une manière robuste.

La charge varie entre 150 et 500 kilogrammes, suivant les dimensions des véhicules et l'âge des rouleurs. L'effet utile s'abaisse jusqu'à $\frac{3}{4}$ de tonne kilométrique. On le porte à 1,50 et même 1,75 par homme, en associant deux herscheurs pour pousser des chiens de plus grandes dimensions.

§ 6

NAVIGATION SOUTERRAINE

610 — Un petit nombre de mines possèdent des galeries d'écoulement dont la cunette présente une section capable de porter des bateaux. On doit citer au premier rang sous ce rapport la houillère de Worsley [1], dont le système de batellerie souterraine a été établi, il y a environ un siècle, par Bradley, en reliant directement les travaux intérieurs avec les docks de Manchester par un canal de navigation à ciel ouvert. L'ensemble forme un total de 16 lieues de développement.

Les galeries de navigation dessinent trois niveaux différents l'intérieur de la mine; mais les étages supérieur et inférieur concentrent leurs produits sur l'étage moyen. Des bateaux de petit modèle y transportent chacun six caisses rectangulaires, ou *tubs*, que l'on déverse, au nombre de trente-trois dans les grands bateaux de l'étage moyen, après les avoir descendus ou montés à l'aide d'un puits intérieur d'extraction. Ces bateaux vont ensuite, sans rompre charge, jusqu'à Manchester.

[1] A la mine de Walkdenmoor, près de Worsley, se trouve un autre réseau de navigation souterraine de dix lieues de développement, auxquelles s'en ajoute une vingtaine au jour. D'autres exemples se rencontrent à Fuchsgrube (Basse-Silésie) sur 1400 mètres, à Zabrze (Haute-Silésie), dans la galerie Ernest-Auguste de 26 kilomètres au Hartz. Il y a eu, pendant quelque temps, un essai de navigation souterraine à Vialas. Citons enfin (pour mémoire, puisqu'il n'a pas été exécuté) le projet Dyèvre d'un canal souterrain qui devait faire communiquer l'intérieur du bassin houiller de la Loire avec le cours du Rhône. (Fournel et Dyèvre, *Mémoire sur les canaux souterrains et les houillères de Worsley*, 1842.)

Digitized by Google

Pour la circulation intérieure, le haleur tire sur une main courante, formée d'un câble en fer qui est fixé au plafond de la galerie. Il détermine ainsi la propulsion du bateau, en marchant le long du plat-bord. Pour l'aider dans ce travail, on a donné au profil du canal une pente de un demi-millimètre par mètre. De distance en distance, des vannes le divisent en compartiments. A l'état de repos, l'eau y figure dans la pensée un escalier, dont les degrés extrêmement allongés n'ont à la vérité qu'une hauteur minime. Celle-ci suffit néanmoins pour que, au moment où le haleur du premier bateau du convoi ouvre l'une des vannes, il se produise un courant, qui facilite le mouvement du train. Au retour, l'on ne possède plus cette ressource; mais alors les bateaux sont vides, ils présentent un moindre déplacement et moins de résistance. Le dernier conducteur referme successivement toutes les vannes.

Le liquide de l'étage supérieur alimente par son excédent le niveau moyen. Les eaux du fond y sont relevées, de leur côté, à l'aide d'une machine d'épuisement. L'étage inférieur a été déterminé arbitrairement, d'après la profondeur à laquelle on comptait, dans l'origine, pousser l'exploitation de l'aval-pendage. Quant au niveau moyen, il se trouvait rigoureusement déterminé par les conditions de l'arrivée à Manchester. L'étage supérieur n'avait pas de raison d'être *a priori* dans cette remarquable conception. Il a été seulement introduit en raison de certaines convenances locales.

611 — Le principe de la navigation souterraine se recommande au premier abord par des avantages importants, lorsque les circonstances sont favorables.

C'est d'abord l'énorme effet utile du haleur, qui s'élève alors à 30 tonnes kilométriques, tandis qu'il n'est guère que de 5, sur les chemins de fer ordinaires de mine, et s'abaisse, comme nous l'avons vu, jusqu'à $\frac{1}{5}$ de tonne kilométrique dans les conditions les moins favorables, ce qui représente alors un résultat 150 fois moindre que pour la navigation. Cette disproportion tient à ce que l'on peut, dans le cas actuel, opérer sur de très grandes masses, et par suite avec une grande lenteur sans diminuer outre mesure l'activité de la production. Or le travail par unité de temps est, dans

Digitized by Google

le halage, proportionnel au cube de la vitesse; il s'abaisse donc dans ces conditions, à des proportions minimes. Le prix de la tonne kilométrique a pu être ainsi réduit à 0 fr. 10.

En outre le réseau de navigation, une fois établi, exige moins de réparations que celui des chemins de fer; et, en se reliant avec des canaux extérieurs, il réalise une économie importante sur le transport extérieur, effectué sans frais de transbordement.

612 — En revanche, ce système présente les plus sérieux inconvénients. Les frais de premier établissement sont considérables. On ne pourrait créer une semblable organisation qu'en opérant sur un massif considérable, assuré d'une longue production. Il faut avoir de grandes distances à parcourir, sans quoi les manœuvres de chargement et de déchargement aux extrémités prennent une importance relative qui efface les avantages de l'économie réalisée sur la locomotion. Or la plupart des inconvénients acquièrent eux-mêmes une importance proportionnelle à ce développement du réseau.

On ne peut établir un pareil organisme que dans des roches très compactes et non fissurées. Il faut par suite exploiter à l'aide de méthodes très sûres sous ce rapport, et ne pas avoir à craindre la présence de vieux travaux, désordonnés et mal connus. La véritable utilité de ce dispositif ne concerne du reste que l'amont-pendage, dont la galerie de navigation assure le drainage. L'aval-pendage, pour lequel il faut relever les eaux avec des machines, grèvera beaucoup plus l'opération. Le réseau ne pouvant se ramifier indéfiniment, de manière à pénétrer dans les tailles, il reste toujours à combiner, avec le système de batellerie, un certain transport secondaire. Si les réparations sont moins fréquentes qu'avec les chemins de fer, elles sont en revanche beaucoup plus difficiles. La moindre avarie, un bateau coulé, peuvent paralyser pendant longtemps toute l'activité du trafic.

D'après ces divers motifs, le procédé de la navigation souterraine doit être considéré comme intéressant à titre de curiosité, mais appelé à très peu d'applications.

Digitized by Google

CHAPITRE XXV

CHEMIN DE FER DE MINE

—

§ 1

VOIE NORMALE

613 — C'est dans les mines que le *chemin de fer* a pris naissance. Il s'est de là répandu à la surface, pour y devenir, par l'application de la vapeur, le plus merveilleux engin de locomotion de l'homme. Une industrie de cette importance forme naturellement l'objet de cours et de traités spéciaux. Ce ne sera cependant pas faire avec eux double emploi, que de consacrer ici ce chapitre et le suivant à l'étude du *chemin de fer de mine*, qui diffère profondément, sous beaucoup de rapports, du *chemin de fer à vapeur de la surface*.

La voie y est très étroite, en raison de l'exiguïté des galeries; simple et légère, car elle est appelée à être souvent remaniée, et ne supporte, au lieu de lourdes locomotives à marchandises, que des véhicules nécessairement très réduits, puisqu'ils sont destinés à être traînés par des hommes, et souvent même par des enfants. Les courbes y sont très raides, car on est gêné par les angles et le peu de largeur des galeries, au lieu de pouvoir se développer en rase campagne. La vitesse reste hors de comparaison avec celle des trains à vapeur. Un déraillement, au lieu d'entraîner des catastrophes, ne constitue qu'un incident sans importance. Enfin les plans inclinés armés de câbles, qui ne figurent dans les tracés de

Digitized by Google

la superficie que comme l'exception la plus rare, jouent dans les mines, ou à leurs abords, un rôle absolument essentiel [1].

L'étude des chemins de fer de mines se divisera d'après cela en deux parties distinctes, selon qu'il s'agit de galeries sensiblement horizontales, ou de montages assez redressés pour que les wagons y doivent être enchaînés, au lieu de circuler librement. Ce dernier cas fera l'objet des chapitres XXVII et XXVIII. Quant aux conditions ordinaires, elles nous présentent elles-mêmes deux ordres d'idées différents : l'étude de la voie, à laquelle nous consacrerons le présent chapitre, et celle du matériel roulant, que nous aborderons dans le suivant.

En ce qui concerne la voie, nous envisagerons successivement quatre ordres d'idées : la voie normale, les bifurcations, les pentes, les courbes.

614 — Les chemins de fer se rangent en deux classes, suivant que l'on y emploie le rail saillant (*rail-way*), ou le rail creux (*tram-way*). Ces derniers constituent la seule solution admissible dans les grandes villes, pour lesquelles le rail saillant apporterait un obstacle insurmontable à la circulation des voitures. Ils doivent être, au contraire, absolument proscrits de l'intérieur des mines,

[1] Les chemins de fer à voie étroite, profil tourmenté et traction ralentie, tendent à se développer à la surface, à côté de la grande traction à vapeur. Déjà, en 1880, il en existait 5374 kilomètres au Brésil, 1656 en Suède et en Norwège, 647 à la Nouvelle-Zélande, 132 à l'île de la Réunion, etc. En 1891, il y avait en France 1448 kilomètres de chemins de fer d'intérêt local à voie étroite.

Je citerai, comme l'un des plus curieux, le chemin de fer de l'Himalaya, qui relie Calcutta à Darjeeling. La voie en acier a 0m,61 de largeur, 0m,81 pour l'espacement des traverses. Les pentes s'élèvent jusqu'à 0m,05 par mètre : les courbes atteignent 2 à 3 mètres de rayon, avec des plaques d'appui sous les rails. La ligne a 580 kilomètres. Sa dernière section gravit 2255 mètres de verticale sur 80 kilomètres de développement. Les travaux, commencés en 1879, ont été terminés en juin 1882.

Parmi les chemins de fer à voie étroite et à ciel ouvert qui se trouvent en relation directe avec l'industrie minérale, on peut citer ceux de la compagnie de l'Aveyron, de Cessous et Trébiau, de Rochebelle, de Lalle, de Mokta ; du Flénu, de Trifail (Styrie), de Saint-Léon (Sardaigne), du Broelthal (Cologne), du Laurium, de Festiniog (Pays de Galles), etc.

(Ledoux, Chemins de fer à voie étroite, *Annales*, 7e, V, 329, 429. — *CRM*, août 1877, 8. — Leseure, *Bull. min.*, 1re, XII. — Fousset, *Mémoire sur l'Algérie et les chemins de fer à voie étroite*. — *Bulletin de l'Association scientifique de France*, 3 septembre 1882, 360. — Habets, *Rev. univ. d. m.*, 2e, XI. 69.)

Digitized by Google

en raison de leur disposition à s'encrasser ; et ils n'y ont figuré que d'une manière éphémère.

Les rails saillants se rapportent à trois types principaux [1].

Le rail *méplat* (fig. 417) est une simple barre de fer, à section rectangulaire, posée de champ, pour offrir plus de résistance (N° 272). Il est fixé à l'aide d'un coin, soit au moyen d'un coussinet spécial, soit dans une fente de la traverse. Quelquefois la

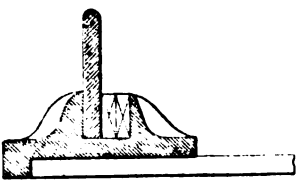


Fig. 417. — Rail méplat.

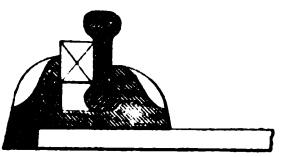


Fig. 418. — Rail à double champignon.

barre de fer, au lieu d'être plate, présente la forme d'une cornière. L'une des faces de cette dernière est posée à plat sur la traverse, à laquelle on la fixe avec des crampons.

Le rail *à double champignon* (fig. 418) est pris dans des coussinets. La forme de sa section se rattache au type du double T, qui constitue la solution rationnelle de la résistance à la flexion. Il présente l'avantage de se prêter au retournement, lorsque l'une des deux têtes est usée. Cependant on reste exposé à ce que, par suite de sa déformation, elle refuse alors de rentrer dans le calibre du coussinet. Le profil en double champignon procure une assiette meilleure à la roue, qui se coupe davantage sur un fer plat. La voie est plus propre, car le plan de roulement se trouve élevé de

[1] On peut y ajouter, pour mémoire, le rail en U, ou rail Brunel (fig. 419), et le rail

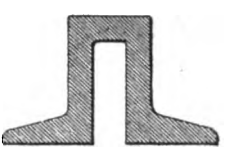


Fig. 419. — Rail en U.

en V renversé, ou rail Barlow, que l'on rencontre dans quelques exploitations anglaises.

Digitized by Google

0m,08 environ au-dessus des traverses. Le ballast, devenu plus épais, défend mieux ces dernières contre le pied des chevaux. L'assemblage du rail à la traverse, au moyen de coussinets, est plus solide que le mode sommaire employé pour le fer plat.

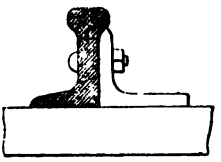


Fig. 420.
Rail à demi-patin.

Le rail *à patin*, ou rail Vignole, ainsi que le rail à demi-patin (fig. 420) présentent l'avantage d'une excellente assiette; mais ils obligent à renoncer à la faculté du retournement.

615 — Le remplacement du rail de fer par le rail d'acier, si général aujourd'hui à la surface, a également pénétré dans les mines (1). L'acier se recommande, en effet, par de notables avantages. Il procure une durée au moins triple de celle du rail de fer, toutes choses égales d'ailleurs. D'après les premiers résultats, on espère qu'elle pourra être de 30 ans pour les galeries de roulage, et même 50 ans en réunissant les meilleures conditions; 25 ans seulement en moyenne au milieu des dépilages, qui occasionnent une certaine perte. Cependant on peut demander encore aux rails quelque service dans ces derniers chantiers, après leur durée normale en service ordinaire. Ce laps de 30 années pourrait correspondre à un trafic total de 9 millions de bennes, représentant 5 millions de tonnes par la réunion de leur poids mort et du poids utile. L'usure du métal fondu est plus uniforme que celle du fer laminé, qui a tendance à s'exfolier. Le rail d'acier, relativement léger, se cintre plus facilement dans les courbes.

J'inscrirai ici deux exemples de rails Bessemer à double champignon. La première colonne se rapporte à la mine de Carmaux, et la seconde à celle de Commentry :

Hauteur du rail.	0m,065	0m,0650
Largeur du champignon . . .	0m,022	0m,0195
Épaisseur de l'âme	0m,008	0m,0062
Poids du mètre courant . . .	5kg,600	6kg,0000

(1) H. et P. Fayol, *CRM*, 1877, février, 8; avril, 3; juin, 15. — *Bull. min.*, 2e, VII, 798.

Digitized by Google

Le devis de la voie de Carmaux s'établissait de la manière suivante, par mètre courant :

Rail Bessemer, 2 mètres à 32f,90 les 100 kilog..		3f,70
2 traverses avec coussinet en fonte à . .	1f,75	3f,50
4 coins en bois à	0f,01	0f,04
Pose.		0f,16
		7f,40

Si, au lieu d'employer des coussinets de fonte, on se contente d'entailler les traverses, le prix de celles-ci s'abaisse à 2 fr. 50.

M. A. Evrard indique le devis suivant de la voie de Commentry en rails d'acier Bessemer à double champignon de 6 kilogrammes par mètre courant :

	fr.
2 mètres de rails; 12 kilogr. à 18f %	2,16
Traverses avec leurs coussinets ordinaires, 1,16 à 1f,28.	1,48
— — - - de joints, 0,17 à 1f,50.	0,26
Coins sulfatés	0,08
Laitier en morceaux de 6 centimètres.	0,12
Transport des traverses et de la voie	0,09
Confection de la voie	0,18
	4,37

616 — Les rails en fer pèsent depuis 3 kilogrammes par mètre (pour chariot de 300 kilogrammes) jusqu'à 10 kilogrammes et parfois davantage (en supposant un wagon d'une tonne et demie). On adopte le plus souvent un poids de 4 à 8 kilogrammes, pour des véhicules de 500 à 1200 kilogrammes. Le calibre du rail méplat varie avec le poids du wagonnet, d'après le tableau suivant [1]

[1] Callon, *Cours d'exploitation des mines*, II, 80. Ces valeurs supposent que l'on établisse 3 traverses pour 2 mètres de longueur. Si cet espacement devait augmenter, il faudrait renforcer le rail.

Digitized by Google

POIDS DU WAGONNET CHARGÉ	RAIL		
	HAUTEUR	LARGEUR	POIDS PAR MÈTRE COURANT
kilogr.	mètres	mètres	kilogr.
300	0,040	0,010	3,11
500	0,050	0,010	3,89
700	0,055	0,012	4,67
900	0,060	0,015	7,00
1 200	0,070	0,015	7,82
1 500	0,070	0,018	9,81

La longueur du rail est de 5 à 6 mètres, sur les voies destinées à une certaine durée, 2 à 3 seulement pour celles qui sont souvent remaniées. Les bouts sont coupés d'équerre, rarement en biseau. Ils sont jointifs, sans qu'il soit nécessaire de laisser à leur dilatation le même jeu qu'à la surface, où ils se trouvent exposés aux effets de l'insolation et aux variations des saisons. On les réunit bout à bout à l'aide d'éclisses, en vue de donner de la rigidité à la voie, surtout lorsque la sole est susceptible de travailler. Ces éclisses sont à trous ronds, et non oblongs comme lorsqu'il s'agit de laisser une certaine latitude à la dilatation.

Les rails ne sauraient trouver, avec leur faible base, une assiette suffisante dans le sol. Ils sont toujours supportés par des traverses. Le chêne forme la meilleure essence pour cet usage. L'équarrissage est, en général, de $0^m,08$ sur $0^m,10$.

On a proposé également des voies entièrement métalliques (fig. 421). Leur prix devient plus élevé à la vérité, mais elles se

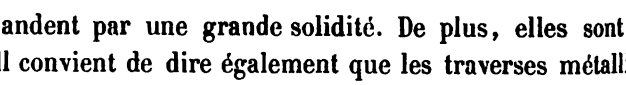


Fig. 421. — Traverse métallique pour rail à double champignon.

recommandent par une grande solidité. De plus, elles sont inusables. Il convient de dire également que les traverses métalliques présentent parfois moins d'assiette dans le sol, et un assemblage moins satisfaisant avec le rail que le mode ordinaire. Dans le

Digitized by Google

Nord de la France, on emploie fréquemment pour les rails Vignole des traverses en fer, type Legrand, pesant $5^{kg},500$. Elles retiennent les patins par des agrafes fixes, disposées alternativement à l'intérieur et à l'extérieur des rails. Ce système donne une voie bien rigide, dont la pose et l'enlèvement sont faciles.

La largeur reste comprise entre $0^{m},45$ et $0^{m},90$. Cette donnée a besoin d'une grande constance, et doit être vérifiée à l'aide d'un calibre pendant la pose des rails. D'une manière générale, le soin que l'on apportera dans la confection des voies produira une économie sensible pour les transports. La longueur des traverses est égale à la largeur de la voie, augmentée de $0^{m},10$ de chaque côté. L'intervalle d'axe en axe varie de $0^{m},60$ à 1 mètre. Le rapprochement tend à prévenir la flexion des rails.

Avec des rails en fer à patins, et des véhicules pesant entre 500 et 1200 kilogrammes, le prix de revient du mètre courant de voie oscillera entre 5 et 10 francs. Pour les voies légères en rails méplats, il tombera à 3 fr. 50 ou 4 francs, et même l'on pourra encore retirer sur cette valeur un appoint de 1 franc ou 1 fr. 50, en reportant le matériel sur un autre point.

Le tableau suivant[1] fournit à cet égard un certain nombre de points de comparaison.

[1] Dressé à l'aide des intéressants documents rassemblés par M. Pernolet, pour l'Agenda-Dunod 1882, p. 83.

Digitized by Google

DÉSIGNATION		CHARGE	LARGEUR de VOIE	ÉCARTEMENT des TRAVERSES	POIDS DU RAIL PAR MÈTRE COURANT			OBSERVATIONS
MINES	BASSINS				VOIES principales	VOIES secondaires	PLANS inclinés	
		kilogr.	mètres	mètres	kilogr.	kilogr.	kilogr.	
Eston.	Yorkshire	2 489	0,914	»	14,90	14,90	14,90	
Blanzy	Saône-et-Loire	1 360	0,800	»	9,16	»	»	
Bessèges	Gard	1 330	0,800	0,65	9,00	7,00	»	
Bellevue.	Liège	1 250	»	»	9,50	»	»	
Horloz	Id.	1 040	»	0,55	12,20	9,20	9,20	
Wearmouth.	Newcastle	717	0,771	0,92	13,70	7,94	7,94	Rail Barlow.
Verein-President. . .	Westphalie	715	0,600	0,80	7,00	7,00	7,00	
Forster-Pit.	Newcastle	700	0,800	0,91	16,85	16,85	16,85	
Sulzbach	Sarrebrück	600	0,700	0,60	12,80	5,60	5,60	
Anzin.	Nord	670	0,600	0,60	6,25	5,25	6,60	
Page-Bank	Durham	660	0,650	0,91	10,92	8,92	8,92	Rail Barlow.
Trieu-Kaisin.	Charleroi	660	»	0,55	6,00	»	»	
Commentry	Allier	653	0,565	0,33	7,40	7,00	»	Rail Bessemer.
Anna.	Westphalie	650	0,470	0,75	9,37	6,25	6,25	
Cheratte	Liège	650	0,550	»	6,00	»	»	
Levant-du-Flenu. . .	Mons	632	0,580	0,65	9,00	5,75	7,00	Traverses métalliques.
Bois-du-Luc.	Id.	630	»	»	10,00	10,00	10,00	Id. id.
Montrambert.	Loire	590	0,500	0,60	10,00	10,00	10,00	
Streppy-Bracquegnies.	Centre belge	520	»	»	10,00	»	»	
Lens	Pas-de-Calais	518	0,600	0,50	5,40	5,40	5,40	
Monceau-Fontaine . .	Charleroi	510	»	0,70	9,00	5,50	5,50	
Brynn-Hall	Wigan	508	0,645	0,91	6,94	6,94	6,94	Rail Barlow.
Clifton-Hall	Manchester	507	0,560	1,30	9,92	9,92	9,92	
Produits	Mons	500	0,530	0,60	5,75	5,75	5,75	Traverses métalliques.
California-Pit	Wigan	455	0,645	0,91	7,90	7,90	7,90	Rail Barlow.
Townley	Burnley	280	0,600	1,83	13,89	13,80	13,89	Cornière en fonte pour rail.
Centrum	Westphalie	»	0,550	0,75	7,50	6,25	6,25	

Digitized by Google

§ 2

BIFURCATIONS

617 — Les *têtes de voie* des recettes sont dallées à l'aide de plaques de fonte, portant des saillies qui se raccordent aux rails et viennent en s'évasant se réduire à rien, de manière à faciliter l'engagement des wagonnets vides qui reviennent du jour. On a soin de strier les surfaces, afin d'assurer le pied des chevaux.

Aux *croisements* à angle droit, on peut installer des plaques analogues, sur lesquelles le chariot, après avoir quitté les rails, est tourné brusquement de 90°, pour s'engager sur la voie perpendiculaire (fig. 422).

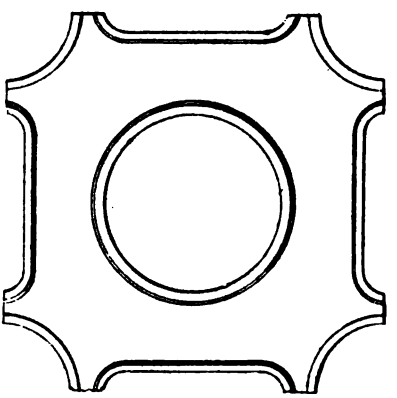


Fig. 422. — Plaque de manœuvre.

Dans une *bifurcation* (fig. 423), ou une *trifurcation* (fig. 424) [1], on laisse aux deux rails extérieurs leur continuité, qui n'apporte aucun obstacle. On interrompt les rails intérieurs à leur point d'intersection, pour permettre le passage des boudins, et l'on replie leurs extrémités en face de l'angle aigu formé par les tronçons, afin de faciliter l'engagement de ces mentonnets. Si, par la pensée, nous abaissons de ce point une normale sur le rail opposé, nous y trouverons d'après cela une région d'indécision dans le guidage des roues. Pour y obvier, l'on établit un *contre-rail*, de telle sorte que le boudin se trouve en cet endroit maintenu de part et d'autre. Ce contre-rail a lui-même ses bouts repliés, de manière que le

[1] A. Évrard, *Traité des moyens de transport*, II, 259 à 260. — Croisement à quatre voies, *CRM*, 1884, 170.

Digitized by Google

mentonnet puisse s'engager franchement dans ce passage étroit. On double pour ces appareils le nombre des traverses, en réduisant à moitié leur intervalle ordinaire, afin d'assurer la solidarité de l'ensemble et la précision des dimensions.

On termine par des *aiguilles* mobiles ceux des rails qui doivent

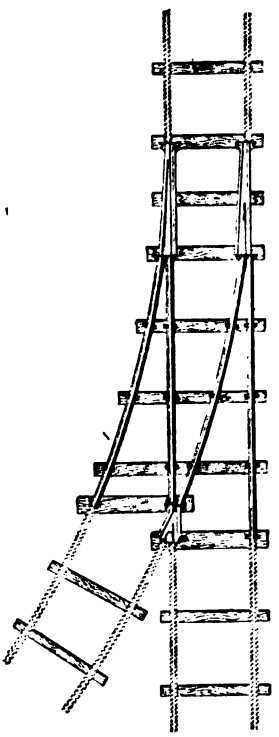


Fig. 423. — Bifurcation.

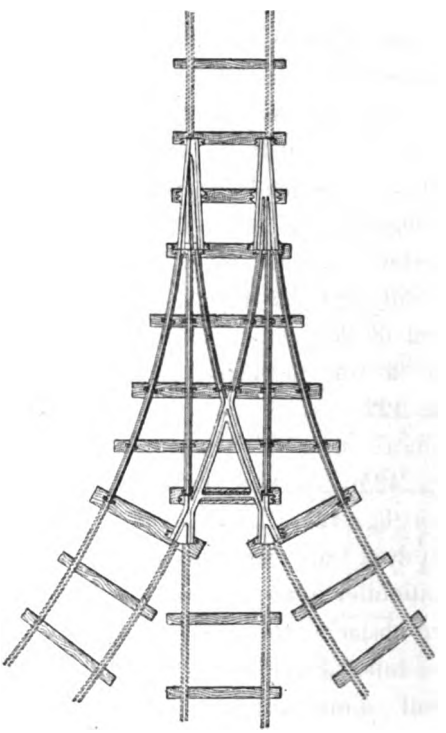


Fig 424. — Trifurcation.

se raccorder tangentiellement avec les rails extérieurs. Selon que l'aiguille est ouverte ou fermée, le train qui vient du *tronc commun* s'engagera sur l'une ou l'autre des *branches*. Quant aux trains qui viennent de ces dernières, si l'aiguille leur barre le passage, ils parviennent néanmoins sur le tronc, en *faisant* eux-mêmes cette aiguille, par la pression qu'exerce sur elle le mentonnet.

Quelquefois l'on supprime l'aiguille (fig. 425), dans les voies où ne circulent que des wagons isolés. Un rail fixe s'approche très près

Digitized by Google

de la position de tangence, et c'est à l'aide d'un tour de main que le rouleur, en appuyant sur le chariot d'un côté ou de l'autre, le pousse sur le prolongement rectiligne, ou l'engage sur la voie déviée.

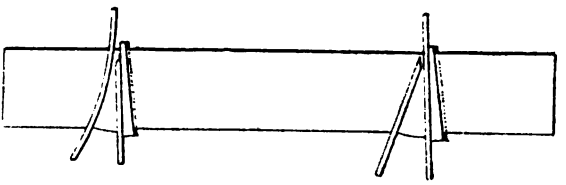


Fig. 425. — Bifurcation sans aiguille.

Dans une troisième variante, destinée aux évitements[1], on s'arrange pour que le train prenne toujours de lui-même sur la droite; la seconde voie servant pour le retour. La bifurcation est alors formée d'une plaque (fig. 426) venue de fonte avec des rails en saillie. Pour l'un des trains, le mentonnet de la roue de gauche rencontre, à partir de A, une sorte de *coteau* assez raide, de quelques centimètres de hauteur, la région ABCD formant un *plateau* par rapport à la *plaine* ABCNM. Cet obstacle dévie naturellement le train du côté de la moindre résistance, et celui-ci s'engage sur le trajet AA', BB', CC'. Inversement, lorsque l'autre train se présente par DD', BB', AA', il n'éprouve aucune difficulté à descendre, par son mentonnet de droite, le petit coteau AB, au prix seulement d'un cahot sans importance.

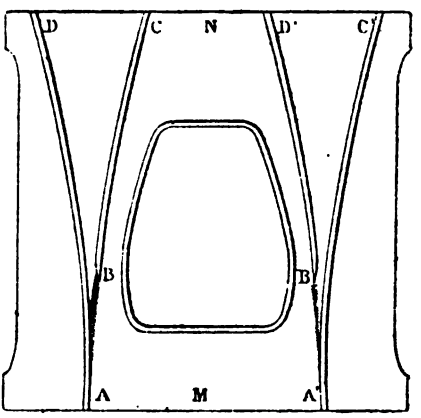


Fig. 426. — Plaque de bifurcation.

On dispose des *gares d'évitement* pour la rencontre des trains dans les galeries à une seule voie, qui constituent l'immense majo-

[1] Graissessac (Quatre-Mines-Réunies).

Digitized by Google

rité des cas. Les conducteurs doivent s'y attendre les uns les autres. lorsqu'ils reconnaissent par le bruit du roulement qu'un convoi se trouve déjà engagé dans la travée suivante. Il faut d'après cela que ces gares soient suffisamment multipliées, pour que les trains y stationnent le moins longtemps possible. Lorsque le cheval doit pouvoir repasser de tête en queue du convoi, il est nécessaire de laisser à l'entrevoie une largeur suffisante. C'est d'ailleurs un des dangers de la circulation dans les mines, que le peu de largeur des galeries, en raison duquel on risque d'être serré contre la paroi par le passage des rames de wagonnets.

§ 3

PENTES

618 — *Équations fondamentales.* — La question des pentes présente une très grande importance. En effet le coefficient de traction n'étant que de quelques millièmes, comme nous le verrons bientôt, une inclinaison qui n'aura elle-même qu'une valeur de quelques millièmes suffira pour l'affecter d'une manière très notable. Cette sensibilité sera en outre d'autant plus accusée, que le matériel aura été établi avec plus de précision. La pente doit être bien uniforme. C'est du reste un principe absolu, que *le roulage en charge effectué par l'homme ou le cheval doit toujours procéder en descendant, sans contre-pentes.* L'inclinaison devient une *rampe* pour le retour à vide (1).

Lorsque le chariot n'est soumis qu'à la gravité et aux résistances passives sans moteur étranger (2), les choses se passent de la manière suivante. Pour toutes les inclinaisons comprises entre le *palier* horizontal et un certain angle, que nous appellerons *pente de roulement*, le véhicule reste immobile, et il rentre même bientôt

(1) Ajoutons toutefois que l'introduction des treuils à air comprimé ou mus par l'électricité dans un certain nombre de mines a procuré sous ce rapport des facilités nouvelles. Ils peuvent notamment, en permettant de remonter les remblais, dispenser dans certains cas d'avoir deux voies maîtresses pour l'exploitation d'un étage.

(2) Mode de mouvement qui est dit *en dérive*.

Digitized by Google

dans le repos, si on l'a d'abord lancé avec une certaine vitesse. Pour cette pente précise, au contraire, la vitesse une fois imprimée se conservera d'une manière uniforme. Au delà, et jusqu'à une autre inclinaison que nous pouvons appeler *pente de glissement* (1), le mouvement prendra naissance de lui-même pour un véhicule laissé libre en repos, et sa vitesse s'accroîtra avec une accélération constante dans chaque cas, mais de plus en plus marquée au fur et à mesure que l'angle augmente. On a cependant la ressource de modérer, et souvent même d'annuler cet accroissement en embarrant une ou plusieurs roues, de manière à substituer, pour ce qui les concerne, le frottement à la résistance au roulement, qui est d'une valeur beaucoup moindre (2). Mais si l'on atteint la pente de glissement, lors même que toutes les roues seraient embarrées, le système descendrait encore à l'état de traîneau, avec une accélération qui, d'abord nulle pour ce degré précis d'inclinaison, continuera à être croissante en même temps que la pente. On n'a plus en ce cas d'autre moyen de modérer le mouvement que d'enchaîner le chariot, et d'opposer à sa descente l'action extérieure d'un frein fixe. C'est alors le mécanisme des plans automoteurs, auxquels nous consacrerons le chapitre XXVII. Par conséquent tant que l'on tient à conserver l'indépendance des véhicules, c'est l'inclinaison elle-même qu'il faut restreindre, en remplaçant, s'il y a lieu, par des voies thiernes les lignes de plus grande pente.

619 — Supposons maintenant, pour aborder le cas ordinaire, un wagonnet (fig. 427) actionné par un moteur spécial, indépendamment de la pesanteur, et parcourant d'ailleurs une pente assez faible pour que la vitesse puisse demeurer constante sous l'action de cette force étrangère. Proposons-nous de déterminer l'intensité de l'effort impulsif qui sera nécessaire à cet effet. Quand nous

(1) Elle est égale à l'angle de frottement, lequel a pour tangente trigonométrique le coefficient de frottement. Pour le glissement des métaux *à sec*, on peut admettre (Poncelet, *Introduction à la mécanique industrielle*, 1841, p. 486) la valeur : $f = 0,18$. L'angle correspondant est alors égal à 10° 12′ 10″.

(2) Indépendamment de la pente proprement dite de roulement qui correspond à la liberté des quatre roues, on en peut par la pensée envisager trois autres de plus en plus accusées, selon qu'une, deux, ou trois de ces roues auront été embarrées.

Digitized by Google

aurons ainsi obtenu la relation qui rattache l'une à l'autre la pente et la force de traction, nous discuterons cette équation de manière à en déduire le meilleur mode à employer dans la pratique.

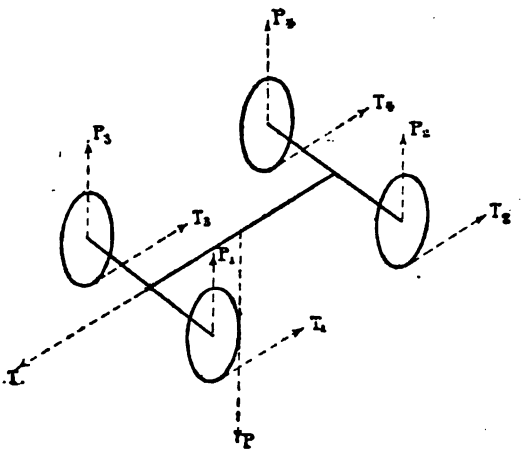


Fig. 427.

Le centre de gravité ayant un mouvement rectiligne et uniforme, toutes les forces extérieures devront se faire équilibre si on les transporte par la pensée en ce point. Nous sommes donc autorisés à égaler à zéro la somme de leurs projections sur l'axe de la voie. Désignons à cet effet par T la force motrice (dans laquelle je comprends tout à la fois l'action impulsive du moteur et la composante tangentielle de la gravité), et par T_1, T_2, T_3, T_4, les composantes tangentielles de la résistance exercée par les rails sur la jante des quatre roues. On aura d'après cela :

$$(1) \qquad T_1 + T_2 + T_3 + T_4 - T = 0.$$

Envisageons maintenant un système partiel en supprimant, dans le précédent, tous les organes tournants, et nous limitant à la portion qui se trouve animée d'un mouvement de translation, c'est-à-dire la caisse et le chargement. Soient P le poids total de cette partie, et P_1, P_2, P_3, P_4, les composantes verticales des réactions développées dans les boîtes à graisse. On pourra écrire, en continuant à invoquer la translation rectiligne et uniforme, l'équation de projections verticales :

$$(2) \qquad P_1 + P_2 + P_3 + P_4 - P = 0.$$

Digitized by Google

Nous y négligeons comme insignifiantes les projections verticales des cinq forces qui figurent dans la relation (1), et qui sont dirigées suivant une droite inclinée de quelques millièmes seulement sur l'horizon [1].

620 — Envisageons enfin, comme troisième système matériel, l'une des roues, prise isolément (fig. 428) et supposée, pour fixer les idées, folle sur son essieu [2]. Son mouvement absolu peut se décomposer géométriquement en deux autres, à savoir : l'entraînement de la caisse, et une rotation uniforme autour de son axe, fixé à cette caisse. Pour l'étude dynamique de ce mouvement relatif, on doit, d'après un théorème de la mécanique générale, adjoindre aux forces réelles la force centrifuge composée et la force d'inertie d'entraînement. Mais, dans le cas actuel, l'une et l'autre seront identiquement nulles, puisque le mouvement d'entraînement est une translation rectiligne et uniforme.

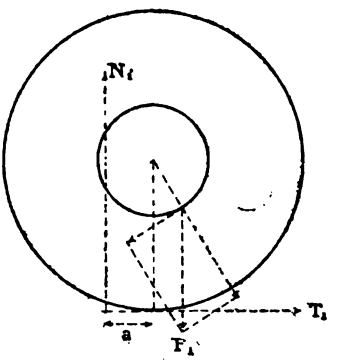


Fig. 428.

Quant aux forces réelles, il en existe trois, à savoir : le poids ϖ_1 de la roue, et l'action des deux corps avec lesquels elle se trouve en contact, c'est-à-dire le rail et la fusée de l'essieu. Le centre de gravité de la roue étant situé sur l'axe, et par conséquent en repos relatif, les forces extérieures doivent se faire équilibre si on les y transporte par la pensée. On aura donc, d'une part, l'équation de projections verticales :

$$N_1 = P_1 + \varpi_1, \tag{3}$$

[1] En effet, l'erreur ainsi commise ne sera que de quelques millièmes de ces forces, beaucoup moindres elles-mêmes que celles qui figurent déjà dans l'équation (2), car la traction ne doit être qu'une faible fraction du poids transporté.

[2] Nous verrons plus loin (N° 642, note 1) le moyen très simple d'étendre ces considérations au cas où les roues sont, deux par deux, solidaires avec leur essieu.

Digitized by Google

en représentant par N_1 la réaction normale du rail, que nous pouvons, avec le même degré de précision que ci-dessus, identifier à sa composante verticale; en second lieu, une équation de projections sur l'axe de la voie. Comme celle du poids ϖ_1 peut encore y être négligée, cette relation exigera l'égalité de la composante tangentielle T_1 de l'action du rail, et de celle de la force de traction transmise à la roue par la fusée. Puisque du reste la traction est nécessairement une faible fraction de la charge, on voit par là que T_1 est d'une valeur très inférieure à celle des forces verticales, telles que P_1. Cependant nous ne pouvons négliger indistinctement ces diverses forces tangentielles, sans nous rendre compte, au préalable, de la manière dont elles interviennent dans l'équation du mouvement de la roue.

Ce mouvement étant une rotation uniforme, nous devons égaler à zéro la somme des moments de toutes les forces par rapport à l'axe. Le poids ϖ_1 en disparaît de lui-même, puisqu'il est appliqué au centre de gravité, qui est situé sur l'axe. L'action tangentielle T_1 du rail a pour bras de levier le rayon R de la roue, et pour moment :

$$T_1 R. \tag{4}$$

La composante de l'action de la fusée, parallèle et égale à T_1, ayant pour bras de levier une fraction seulement du rayon r de la fusée, lequel est très inférieur à R, son moment pourra être négligé devant le précédent. Ce dernier au contraire ne saurait disparaître devant le moment de la composante verticale P_1, bien que T_1 soit très faible en comparaison, attendu qu'une disproportion analogue, mais inverse, existe entre le bras de levier R de T_1 et celui de P_1 qui est encore une fraction de r.

Pour évaluer ce moment, remarquons que P_1 forme maintenant l'action totale de l'essieu, puisque nous avons négligé sa seconde composante. Décomposons de nouveau cette force, suivant la tangente et la normale de la circonférence de la fusée. Cette dernière composante, rencontrant l'axe, n'a pas de moment. L'action tan-

Digitized by Google

gentielle a pour valeur, d'après la théorie du frottement[1] :

$$\frac{f}{\sqrt{1+f^2}} P_1;$$

mais nous pouvons la réduire approximativement à la forme plus simple :

$$fP_1.$$

En effet, l'erreur relative ainsi commise a pour expression :

$$\sqrt{1+f^2} - 1.$$

Or, on peut admettre pour f la valeur[2] :

$$f = 0{,}05, \tag{5}$$

et dès lors cette erreur relative devient $\frac{1}{800}$, ce qui excède évidemment beaucoup le degré de précision dont on pourrait répondre dans la réalisation effective de la pente qu'il s'agit de calculer. Le bras de levier de cette composante tangentielle étant d'ailleurs r, nous aurons définitivement, pour le moment total de l'action de la fusée :

$$fP_1 r, \tag{6}$$

Quant à la réaction normale N_1 du rail, la théorie de la résistance au roulement nous apprend qu'elle doit être envisagée comme passant en avant du point de contact géométrique, à une distance a, doublement spécifique. Or on peut admettre pour le roulement de fonte sur fer[3] :

$$a = 0^m{,}001. \tag{7}$$

(1) Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 359.

(2) Wood, *Traité des chemins de fer*, 132. — Couche, *Voie, matériel roulant et exploitation technique des chemins de fer*, III, 609.

(3) Wood, *loco citato*, 115. — Couche, *loco citato*, III, 606.

Cette valeur, applicable aux chemins de fer à vapeur, devrait sans doute être aug-

Digitized by Google

Le moment de cette réaction sera donc $N_1 a$, ou d'après l'égalité (3) :

$$(8) \qquad (P_1 + \varpi_1)\, a.$$

Si maintenant nous réunissons les valeurs (4), (6), (8), des moments de ces diverses forces, l'équation se posera de la manière suivante :

$$T_1 R - f P_1 r - (P_1 + \varpi_1)\, a = 0.$$

On en déduit :

$$(9) \qquad T_1 = \frac{fr}{R} P_1 + \frac{a}{R} (P_1 + \varpi_1).$$

Imaginons actuellement que l'on reproduise le même raisonnement pour chacune des trois autres roues, en remplaçant successivement l'indice 1 par les indices 2, 3, 4; et additionnons membre à membre les quatre formules ainsi obtenues. Il viendra par là :

$$T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = \left(\frac{fr + a}{R}\right)(P_1 + P_2 + P_3 + P_4) + \frac{a}{R}(\varpi_1 + \varpi_2 + \varpi_3 + \varpi_4).$$

Nous représenterons par ϖ le poids total de la partie tournante. Si, en outre, nous nous reportons aux relations (1) et (2), cette dernière équation deviendra plus simplement :

$$(10) \qquad T = \left(\frac{fr + a}{R}\right) P + \frac{a}{R} \varpi.$$

621 — Il convient, pour aller plus loin, de mettre en évidence

mentée dans l'intérieur des mines, pour tenir compte de la diminution du rayon et de l'état des rails. Mais comme, en même temps, la vitesse est incomparablement moindre, et que dès lors certaines résistances qui dépendent de son carré dans les expériences de Wood deviennent inappréciables, nous conserverons la même valeur, mais en la considérant comme un minimum. C'est, sans doute, en raison de sa petitesse que les auteurs qui ont traité la question des pentes dans les mines, ont omis d'en tenir compte. Mais, en réalité, a est du même ordre de grandeur que fr, et cette correction nous a paru indispensable.

Digitized by Google

la composition des forces P et T. Désignons, à cet effet, par p la *charge utile*, c'est-à-dire le poids du minerai transporté, en appelant respectivement α et β les rapports à cette charge, des deux parties distinctes du *poids mort*, à savoir : la portion qui est en translation, et la partie tournante. Ces coefficients formeront les caractéristiques du matériel roulant que l'on emploie. Bien que variables d'une mine à l'autre, ils s'écartent beaucoup moins, en général, d'une certaine moyenne, que les poids eux-mêmes, qui peuvent au contraire changer dans une très large proportion. Avec ces notations, il viendra :

$$(11) \qquad P = p(1+\alpha), \qquad \varpi = p\beta.$$

Quant à la force motrice T, nous y devons distinguer l'action impulsive F, directement appliquée par le moteur, homme [1] ou cheval, et en outre la composante tangentielle de la gravité. Comme la pesanteur agit sur tout l'ensemble $p(1+\alpha+\beta)$, si nous appelons i l'inclinaison de la voie, cette composante aura pour valeur $p(1+\alpha+\beta)\sin i$, ou plus simplement $p(1+\alpha+\beta)i$ [2]. On a donc :

$$(12) \qquad T = F + pi(1+\alpha+\beta).$$

et la relation (10) prend la forme :

$$(13) \qquad \frac{F}{p} = \frac{fr}{R}(1+\alpha) + \left(\frac{a}{R} - i\right)(1+\alpha+\beta).$$

Telle est l'équation fondamentale, propre à faire connaître la force impulsive.

622 — Il y aurait lieu, maintenant, de reprendre une analyse

[1] L'agent employé à ce service est appelé, suivant les localités, *rouleur*, *herscheur*, *hierscheur*, *scloneur*.

[2] En effet, l'erreur absolue ainsi commise étant inférieure à $\frac{i^3}{6}$, l'erreur relative sera moindre que $\frac{i^2}{6}$. Si donc i atteignait la valeur 0,002, cette erreur relative resterait encore au-dessous de 0,00000067, quantité absolument inappréciable.

Digitized by Google

toute semblable pour le mouvement inverse du wagon, lorsqu'il devra remonter la rampe à vide. Mais il nous sera inutile de repasser, dans ce but, par les mêmes intermédiaires. Remarquons, en effet, que la disparition de la charge utile revient à supprimer les termes égaux à l'unité, à l'intérieur de la parenthèse figurant dans l'évaluation du poids total $p(1+\alpha+\beta)$, ou de celui $p(1+\alpha)$ de la partie en translation, en remplaçant respectivement ces expressions par $p(\alpha+\beta)$ et $p\alpha$. D'un autre côté, pour exprimer que la composante de la pesanteur agit alors en sens contraire, il suffira de changer le signe de i. Avec ces modifications, la relation (13) devient :

$$(14) \qquad \frac{F'}{p} = \frac{fr}{R}\alpha + \left(\frac{a}{R} + i\right)(\alpha + \beta).$$

Si le wagon était remonté sur la rampe, non plus à vide, mais plein de remblai, en revenant de l'accrochage ou du plan incliné, au lieu de supprimer l'unité dans l'équation, nous devrions l'y remplacer par un terme γ (en représentant par γp la charge de remblai). On aurait ainsi :

$$\frac{F''}{p} = \frac{fr}{R}(\alpha + \gamma) + \left(\frac{a}{R} + i\right)(\alpha + \beta + \gamma).$$

Mais, pour ne pas trop m'étendre, je me contenterai de discuter seulement les deux premiers modes de traction.

623 — *Discussion des équations.* — Envisageons d'abord le transport *sur palier*. Il suffit à cet effet d'introduire dans les équations (13) et (14) l'hypothèse :

$$i = 0.$$

On aura ainsi, pour la traction du wagon plein :

$$(15) \qquad \frac{F_0}{p} = \frac{fr}{R}(1 + \alpha) + \frac{a}{R}(1 + \alpha + \beta),$$

Digitized by Google

et pour celle du wagon vide :

$$(16) \qquad \frac{F'_0}{p} = \frac{fr}{R}\alpha + \frac{a}{R}(\alpha + \beta).$$

624 — Cherchons, en second lieu, à déterminer la pente de roulement spontané dont il a été question plus haut (N° 618); c'est-à-dire celle qui est strictement suffisante pour que le wagon descende seul, d'un mouvement uniforme.

Cette inclinaison i_1 s'obtiendra en supposant nulle, dans l'équation (13) du mouvement descendant, la force de traction :

$$F_1 = 0.$$

On tire de là comme valeur de la *pente d'équilibre* :

$$(17) \qquad i_1 = \frac{fr(1 + \alpha) + a(1 + \alpha + \beta)}{R(1 + \alpha + \beta)}.$$

Quant à l'effort nécessaire pour remonter, sur cette même rampe, le wagon vide, nous l'obtiendrons en remplaçant, dans la formule (14), i par l'expression (17). Il vient ainsi comme coefficient de traction :

$$(18) \qquad \frac{F'_1}{p} = \frac{fr\left[\beta + 2\alpha(1 + \alpha + \beta)\right] + 2a(\alpha + \beta)(1 + \alpha + \beta)}{R(1 + \alpha + \beta)}.$$

625 — Un troisième système consiste à disposer la voie avec une telle inclinaison, que l'effort à développer par le moteur soit le même dans les deux sens.

Cette inclinaison i_2 s'obtiendra en égalant les valeurs (13 et 14) des tractions à plein et à vide :

$$F_2 = F'_2,$$

ce qui donne pour la *pente d'égale résistance* :

$$(19) \qquad i_2 = \frac{fr + a}{R(1 + 2\alpha + 2\beta)}.$$

Digitized by Google

La valeur commune de ces deux efforts de traction nous sera fournie par la substitution de l'expression (19) à la place de i, dans l'une ou l'autre des deux formules (13) et (14). On obtient par là :

$$(20) \quad \frac{F_2}{p} = \frac{F'_2}{p} = \frac{fr\left[\beta + 2\alpha(1+\alpha+\beta)\right] + 2a(\alpha+\beta)(1+\alpha+\beta)}{R(1+2\alpha+2\beta)}.$$

626 — Parmi ces trois systèmes, la traction en palier ne constitue qu'un cas très particulier, sur lequel nous n'avons pas à insister. C'est sur les deux derniers modes que doit se concentrer l'attention. Nous les désignerons par les dénominations de *roulage spontané* et *roulage égalisé*.

Le premier convient surtout lorsque l'homme est employé comme moteur. Dans ce cas, le rouleur pousse le wagon pour démarrer; lorsqu'il l'a lancé à la vitesse convenable, il monte sur l'arrière, et se repose ainsi pendant la descente du véhicule. Il déploie seulement son effort pour la remontée du chariot vide. Avec les chevaux, au contraire, qui marchent dans les deux sens, il est plus rationnel de rendre le travail uniforme [1]. Le roulage égalisé peut du reste être également employé pour les herscheurs. Il y a donc lieu d'en comparer les résultats à ceux du précédent.

Le rapport des forces impulsives (18) et (20) est le suivant :

$$(21) \quad \frac{F'_1}{F'_2} = \frac{1+2\alpha+2\beta}{1+\alpha+\beta}.$$

Le mode spontané exige d'après cela, pour le retour, le plus grand des deux efforts. C'était assurément évident à l'avance, mais nous voyons par ce calcul que l'*excédent proportionnel* a comme valeur précise :

$$(22) \quad \frac{\alpha+\beta}{1+\alpha+\beta}.$$

Pour comparer d'autre part, non plus les intensités en kilo-

[1] Pour des trains un peu considérables, on emploie, outre le *conducteur* du cheval, un *suiveur de rame* qui surveille le train, et remédie aux déraillements et aux décrochements d'attelages.

Digitized by Google

grammes, mais les effets utiles en tonnes kilométriques, nous devons d'abord avoir soin de faire cette comparaison *à égalité de fatigue musculaire* chez le herscheur, sans quoi un tel rapprochement n'aurait aucune valeur. Or, en négligeant le temps de la descente rapide de l'homme sur le chariot, on peut admettre que les deux rouleurs exercent, pendant toute la durée de leur service, les efforts respectifs F'_1 et F'_2, et comme conséquence, que les fatigues qu'ils en ressentent sont proportionnelles à ces intensités. Commençons donc par disposer des poids utiles transportés par eux p_1 et p_2, de manière à établir l'identité :

$$F'_1 = F'_2.$$

Il est nécessaire pour cela que ces poids varient, à égalité de force, dans le rapport inverse de celui que présentent les forces (21) à égalité de poids. Il faut donc, en représentant toujours par α et β les rapports au premier poids p_1 des deux parties du poids mort (qui lui-même est supposé ne pas varier), que l'on ait :

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{1 + \alpha + \beta}{1 + 2\alpha + 2\beta}, \tag{23}$$

et par suite que l'on transporte, dans le mode égalisé, un *excédent proportionnel* de poids marqué par l'expression (22).

Cela posé, puisque nous négligeons par approximation le temps de la descente rapide du herscheur dans le mode spontané, nous devons admettre qu'il fait deux fois plus de voyages, avec sa charge p_1, que le second avec la sienne p_2. Leurs effets utiles au bout de la journée seront donc dans le rapport de $2p_1$ à p_2, ce qui donne d'après l'expression (23) :

$$\frac{2\,(1 + \alpha + \beta)}{1 + 2\alpha + 2\beta}.$$

On voit par conséquent que, dans ces conditions, le rendement est,

Digitized by Google

avec le mode spontané, plus élevé qu'avec le roulage égalisé, et que l'*excédent proportionnel* a pour valeur :

$$\frac{1}{1 + 2\alpha + 2\beta}. \tag{24}$$

627 — *Résultats numériques.* — Pour nous former une idée de la valeur effective de ces symboles algébriques dans la pratique, nous admettrons comme une moyenne acceptable, d'après le tableau du N° 652, que le poids mort soit la moitié du poids utile :

$$\alpha + \beta = \frac{1}{2}. \tag{25}$$

Si donc on transporte successivement le même poids suivant les deux systèmes, il faut, avec le roulage spontané, un excédent proportionnel de force impulsive, ayant pour valeur (22) :

$$\frac{\alpha + \beta}{1 + \alpha + \beta} = \frac{1}{3}.$$

Si, au contraire, les hommes se fatiguent d'une manière constante en transportant, d'après le mode égalisé, un tiers en sus de poids utile, on réalise, dans le roulage spontané, un excédent proportionnel d'effet utile qui a comme expression (24) :

$$\frac{1}{1 + 2(\alpha + \beta)} = \frac{1}{2}.$$

628 — Admettons maintenant, pour les poids de la caisse et des roues, le rapport de 5 à 2 :

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{5}{2}. \tag{26}$$

Il suit alors des deux équations (25) et (26) qui relient α et β :

$$\alpha = \frac{5}{14} = 0{,}3571 \qquad \beta = \frac{1}{7} = 0{,}1429.$$

Digitized by Google

Nous prendrons enfin comme rayons :

$$R = 0^m,150 \qquad r = 0^m,015.$$

Dans ces conditions, il vient pour les pentes des deux modes de transport, (5) et (7) :

$$i_1 = 0,0078 \qquad i_2 = 0,0058;$$

et pour les coefficients de traction correspondants, (18) et (20) :

$$\frac{F'_1}{p} = 0,0107 \qquad \frac{F'_0}{p} = 0,0080.$$

Quant aux forces exercées sur palier, à plein ou à vide, elles ont comme valeurs (15) et (16) :

$$\frac{F_0}{p} = 0,0168 \qquad \frac{F'_0}{p} = 0,0051.$$

629 — M. Grand, par une méthode qui lui est propre [1], a obtenu expérimentalement le coefficient de traction en palier. Avec sa boîte à huile (fig. 435), réalisant un graissage continu et perfectionné que l'on peut jusqu'à un certain point considérer comme exceptionnel par rapport aux données ordinaires de l'industrie souterraine, il a trouvé que ce rapport s'abaisse à 60 pour 100 environ de la valeur que cet ingénieur avait obtenue en même temps avec l'ancien matériel des mines de Carmaux, où se faisait l'expérience. Nous envisagerons donc ici de préférence ce dernier mode de roulage, comme plus rapproché des conditions moyennes, auxquelles se rapportent les valeurs numériques adoptées ci-dessus pour les résistances passives. Les expériences de M. Grand fournissent, à cet égard, la valeur :

$$\frac{F_0}{p\,(1 + \alpha + \beta)} = \frac{1}{87} = 0,0114$$

[1] *Bull. min.*, 2e, VII, 379.

Digitized by Google

comme rapport de la force de traction au poids *total*. Or nous avons trouvé, en réduisant le résultat précédent à cette même forme :

$$\frac{F_0}{p\,(1+\alpha+\beta)} = \frac{2}{3}\cdot 0{,}0168 = 0{,}0112.$$

Il était impossible d'attendre un accord plus complet.

630 — Pour permettre la comparaison des divers modes de traction sur les chemins de fer de mine, nous présenterons ici les valeurs renfermées dans le tableau suivant (1) :

MODE de ROULAGE	MOTEUR		POIDS UTILE	DISTANCE PARCOURUE deux fois	EFFET UTILE	SALAIRE JOURNALIER	PRIX DE LA TONNE KILOMÉTRIQUE
			kilogr.	kilom.	T. kilom.	francs	francs
SPONTANÉ	Homme.		500	16	8,0	3,00	0,37
ÉGALISÉ	Homme (2)	Enfant . .	250	6	1,5	2,00	1,75
		Rouleur. .	500	8	4,0	3,00	0,75
	Cheval (3)	Mauvaise ventilation.	5 000	10	50,0	6,00	0,12
		Bonne ventilation.	8 000	12	96,0	6,00	0,06

(2) Avec les grands wagons de Bessèges, on arrive à réduire le prix de la tonne kilométrique à 0f,40, y compris le graissage, la réparation et l'amortissement du matériel.

(3) Ces chiffres, particulièrement favorables, ne concernent que la traction des trains tout organisés, sans avoir égard aux pertes de temps pour les services de détail. A Lens, le prix moyen de la tonne kilométrique développée *effectivement* par les chevaux est de 0f,266.

Comme point de comparaison, on peut noter que ce prix devient, pour les locomotives du jour en plaine, pour la même Compagnie : 0f,062. Il atteint, en pays de montagnes, 0f,120 à 0f,150 sur le chemin de fer industriel de la mine de Saint-Pierre-d'Allevard.

Aux mines de Lens, le prix moyen effectif de la tonne kilométrique avec tous les systèmes de transport, y compris les plans automoteurs, est de 0 fr. 542. Les quantités de tonnes kilométriques qui figurent dans cet ensemble sont de 25,32 pour 100 en ce qui concerne les hommes; 64,04 pour les chevaux; 10,64

(1) Dressé d'après les indications fournies par le *Cours d'exploitation des mines* de Callon, II, 115.

Digitized by Google

sur les plans inclinés. La longueur moyenne des parcours est de 218^m,58 avec les herscheurs; 698^m,50 par chevaux; 109^m,10 sur les plans automoteurs. Le trajet moyen de la houille au fond est par suite de 1026^m,18.

§ 4

COURBES

631 — *Inclinaison transversale de la voie.* — D'après la loi de l'inertie, le centre de gravité du véhicule ne se déviera de la ligne droite que si une force, exercée par le rail extérieur, vient l'y contraindre. Dès lors, en vertu du principe de l'égalité de l'action et de la réaction, ce rail subira par réciprocité un effort égal dans un sens contraire. La voie éprouve donc dans les courbes un supplément de fatigue, et réclame pour cette raison un supplément de solidité. L'usage est, à cet égard, de doubler sur ces parcours le nombre des traverses, en réduisant leur intervalle à moitié.

Après avoir ainsi commandé le déplacement du centre de gravité en ligne courbe, il faut encore se préoccuper du mouvement qu'éprouve le véhicule par rapport à ce centre, et s'assurer que le wagon continuera à circuler dans un plan horizontal, sans verser en dehors de la voie. En effet si l'on applique, par la pensée, au centre de gravité, deux forces égales et contraires ayant comme direction et intensité celles de l'action exercée par le rail extérieur, l'une d'elles sera employée, comme il vient d'être dit, à infléchir la trajectoire de ce centre. Quant à la seconde, elle formera, avec la pression effective du rail, un couple qui tendra à faire chavirer le chariot du côté de la convexité de la courbe. Il faudra dès lors opposer à cette propension au déversement en dehors, une tendance égale à tomber en dedans. On donne dans ce but à la voie une certaine inclinaison transversale, en relevant son rail extérieur à un niveau légèrement supérieur à celui du rail interne. Cherchons à déterminer avec précision la valeur qu'il convient de donner à cette surélévation.

Digitized by Google

Le poids MP (fig. 429), que je désignerai par P, et la réaction normale MN de la voie, doivent se composer sur le centre de gravité, de manière à lui fournir, par leur résultante MR, la force totale nécessaire pour la production du mouvement de rotation uniforme dont on veut le voir animé, avec la vitesse v et dans un cercle de rayon ρ. On sait que cette dernière, appelée force centripète, est dirigée suivant le rayon horizontal de la courbe, et a comme valeur $\frac{P v^2}{g \rho}$. Le triangle MPR, fourni par le parallélogramme de ces forces, est semblable au triangle ABC, car ils ont leurs côtés respectivement perpendiculaires. Ils donnent dès lors la proportion :

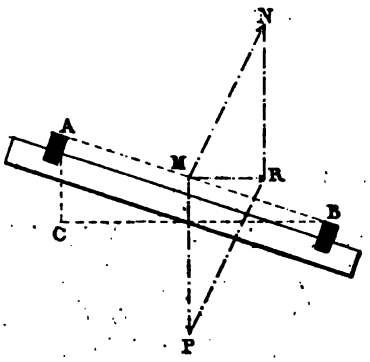


Fig. 429.

$$\frac{AC}{BC} = \frac{\frac{Pv^2}{g\rho}}{P}.$$

Si donc on appelle h le surexhaussement cherché AC du rail extérieur, en confondant, par une approximation bien suffisante, le segment BC avec la largeur de voie l, dont il n'est cependant que la projection, il viendra :

$$(1) \qquad h = \frac{lv^2}{g\rho}.$$

Admettons, par exemple, les données suivantes :

$$l = 0^m,6 \qquad \rho = 4^m,0 \qquad v = 1^m,2 \qquad g = 9^m,8.$$

On trouve alors [1] :

$$h = 0^m,022.$$

[1] Dans cet exemple, l'erreur relative commise en raison de l'approximation pré-

Digitized by Google

632 — La formule (1) met en évidence une grave insuffisance de la solution que l'on voudrait ainsi trouver dans le déversement de la voie. En effet, h est une fonction de la vitesse v, tandis que la valeur de la surélévation du rail, une fois réalisée, restera naturellement constante. Par conséquent, après que l'on aura fait un choix en attribuant à v une valeur moyenne, il subsistera une certaine tendance à verser en dehors dans les passages rapides, et en dedans pour les mouvements lents. A la vérité cet inconvénient, très marqué sur les chemins de fer de la surface, en raison de la grande différence d'allure qui distingue les trains rapides des convois de marchandises, se trouve fort atténué à l'intérieur des mines, où les divers convois n'ont *a priori* aucun motif de présenter des écarts importants de vitesse.

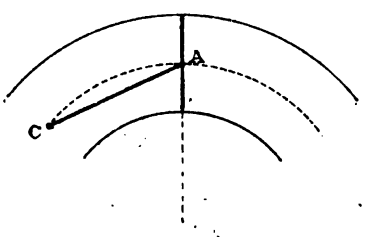


Fig. 430.

Il existe, en revanche, pour le cas actuel une cause de perturbation que l'on ne rencontre pas avec les chemins de fer à vapeur, et dont il sera bon par suite de tenir compte, en diminuant quelque peu l'élévation théorique, dans le cas du roulage effectué par les chevaux. Alors en effet (fig. 430), en raison de la grande raideur des courbes, la direction de la traction exercée par le collier C du cheval sur le crochet d'attelage A, ne saurait plus être considérée comme tangente au cercle, ainsi que cela se présente pour l'attelage de la locomotive. Elle possède au contraire une certaine composante dirigée vers l'intérieur, laquelle entrera en ligne de compte dans la constitution de la force centripète, et diminuera d'autant l'appoint que l'on demande à la pesanteur au moyen de l'inclinaison transversale.

633 — *Conicité des jantes.* — Ces inexactitudes de la solution

cédente reste inférieure à 0,0007. L'erreur absolue est de 0m,000015, et par suite absolument en dehors des quantités appréciables. La formule (1) peut donc être employée en toute sécurité.

Digitized by Google

précédente ont trouvé leur correctif dans une modification bien simple, mais très remarquable, qui a été apportée à la forme des jantes. Celles-ci ne sont plus des cylindres, mais des troncs de cône, dont les sommets sont extérieurs aux rails (fig. 431), tandis que les mentonnets se trouvent placés en dedans [1].

Dans ces conditions, si un wagon passe trop vite, l'inclinaison transversale devenant insuffisante pour fournir la force centripète nécessaire, la trajectoire effective sera moins courbée que le tracé de la voie. Les roues auront d'après cela une tendance à quitter les rails du côté de la convexité. Les circonférences, actuellement égales, se trouveront donc remplacées, pour la roue extérieure, par un cercle plus grand, et pour la roue interne par une section plus petite. De là un relèvement supplémentaire de l'essieu, s'ajoutant à celui qui est déjà dû au déversement de la voie, pour fournir avec précision au véhicule le complément d'inclinaison nécessaire. En effet, cette influence ne cessera de s'accentuer, tant que le résultat ne sera pas obtenu avec rigueur. Au delà, au contraire, il n'aura plus de motif pour continuer à s'accroître.

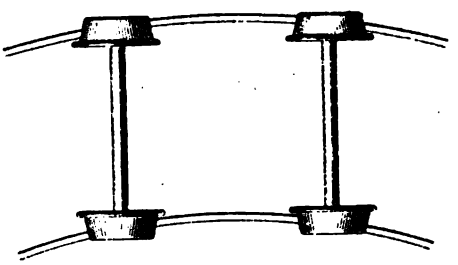


Fig. 431.

Si inversement un chariot passe trop lentement, les phénomènes se produiront dans un sens opposé. L'excès de surélévation déterminera pour le véhicule une tendance à couler transversalement en dedans, de manière à effectuer le roulement par une circonférence externe moindre que la roue intérieure. De là, un abaissement de l'essieu au-dessous de l'inclinaison transversale de la voie, venant corriger ce que celle-ci présente d'excessif dans le cas actuel.

[1] Indépendamment des jantes cylindriques ou coniques, on a employé autrefois des roues à gorge, qui ont complètement disparu.

Digitized by Google

634 — En exagérant considérablement par la pensée la largeur des jantes coniques, on arrive au système Serveille (fig. 432), qui a fonctionné aux abords des carrières de Meudon, avec des voies très tortueuses, de $0^m,30$ seulement de largeur.

Imaginons que les deux troncs de cône de la figure 431 s'allongent vers l'intérieur, de manière à se rejoindre par une base commune pour ne plus former qu'une roue unique. Le chariot, installé sur deux semblables rouleaux parallèles, pourra supporter sans dérailler des basculements latéraux très accentués, d'après les relations accidentelles de la vitesse et de la raideur des courbes. En même temps ces masses assez importantes, animées d'un mouvement rapide de giration autour de leur axe principal central d'inertie, communiqueront au plan de la rotation une certaine stabilité, capable de modérer l'importance des oscillations du véhicule.

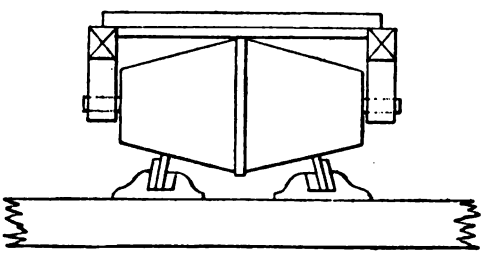


Fig. 432. — Système Serveille.

Ces aperçus ne manquent pas d'ingéniosité. Néanmoins un tel système sortait trop des habitudes ordinaires pour qu'il fût appelé à se répandre.

635 — *Parallélisme des essieux.* — Si l'on veut que le parcours des roues, sur un élément de longueur infiniment petite, s'accomplisse convenablement, il faut supposer l'essieu normal à la voie, ce qui se réalise tout naturellement pour les portions rectilignes. Mais dans les courbes les normales deviennent convergentes, tandis que les essieux conservent, par leur adhérence à la caisse, des situations parallèles. Il résulte de là deux sortes d'inconvénients [1].

En premier lieu, si nous supposons que l'essieu d'arrière se place

[1] Le Chatelier, De l'inscription dans les courbes de petit rayon des véhicules à essieux mobiles dans le sens de leur longueur, *Génie civil*, XIX, 371.

Digitized by Google

normalement à la courbe, le mentonnet de la roue externe du train antérieur aura tendance à sortir de la voie, et à user par son frottement le bord interne du rail extérieur, ce qui détériorera par réciprocité sa propre surface. De là une usure du matériel, et en même temps une augmentation importante du travail des résistances.

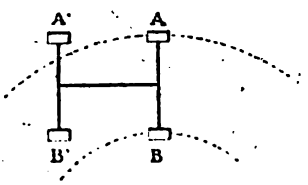


Fig. 433.

Un second défaut consiste en ce que les quatre roues risquent de ne plus se trouver à la fois sur les rails, comme l'indique, avec une exagération voulue, la figure schématique 433.

636 — A cette difficulté on a proposé trois remèdes différents. Le premier consiste à articuler les essieux, au moyen de chevilles ouvrières. Ce procédé, après avoir été employé en Allemagne, peut être considéré comme abandonné, à cause de la complication ainsi introduite dans un matériel qui, en raison des conditions de son emploi, doit être avant tout simple et robuste.

Un second moyen consiste à rapprocher suffisamment les essieux. il est clair, en effet, que l'inconvénient en questionn'est dû qu'à la distance AA', et qu'il disparaîtrait avec elle. On trouve encore à ce rapprochement l'avantage de disposer d'un plus grand bras de levier, pour tourner à force de bras les wagons sur les plaques de croisement. Cette tendance devra cependant rester limitée par la condition de la stabilité. On se trouvera également obligé de tenir compte du diamètre des roues, qui doit nécessairement être inférieur à l'intervalle des essieux.

Une dernière ressource consiste à donner aux jantes une largeur suffisante. La figure théorique 433 suppose, en effet, des roues sans épaisseur appréciable. Si, au contraire, on augmente progressivement par la pensée la largeur de la roue A', on arrivera à lui faire rejoindre le rail dont elle se trouve écartée. On obtiendra ainsi la disposition de la figure 431, pour laquelle les essieux parallèles sont déviés l'un et l'autre de la normale, de manière à répartir sur tous les deux le défaut de convergence.

Digitized by Google

637 — *Glissement.* — Une dernière influence des courbes consiste en ce que, les deux rails devenant de longueurs inégales, les roues, qui doivent forcément être égales en vue des parcours rectilignes, ne pourront plus (en les supposant pour le moment calées sur leur essieu) parcourir ces rails par roulement simple, de manière à y dérouler un même nombre de fois leurs circonférences. Il s'ensuivra un certain glissement. On peut concevoir que celui-ci reste concentré en entier sur l'une des roues, tandis que l'autre roule exactement; mais il pourra également se répartir d'une manière quelconque entre toutes les deux, en s'ajoutant pour l'une et se retranchant pour l'autre par rapport à l'arc de roulement. Le résultat restera le même au point de vue du travail négatif développé, qui aura comme facteur la somme des deux parties, pourvu bien entendu que l'on suppose le chargement symétrique.

Il nous suffit donc d'évaluer ce travail avec l'hypothèse la plus simple, dans laquelle l'une des roues seulement frotte sur le rail, en éprouvant, pour son propre compte, la totalité du glissement inévitable. Si λ désigne, à cet effet, le développement de l'axe de la voie, λ', λ'' les longueurs des rails, on aura entre ces éléments les proportions :

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{\rho + \frac{l}{2}}{\rho}, \qquad \frac{\lambda''}{\lambda} = \frac{\rho - \frac{l}{2}}{\rho},$$

en appelant l la largeur de voie et ρ le rayon moyen de la courbe. On tire de là :

$$\lambda' = \lambda\left(1 + \frac{l}{2\rho}\right), \qquad \lambda'' = \lambda\left(1 - \frac{l}{2\rho}\right),$$

et, par conséquent :

$$\lambda' - \lambda'' = \frac{\lambda l}{\rho}.$$

Telle est la valeur du glissement.

Comme nous admettons d'ailleurs que le poids total du véhicule se répartit également sur chaque roue, l'une des moitiés

Digitized by Google

du tonnage qui passe dans la courbe en un temps quelconque, subira ce glissement par l'intermédiaire de l'une des roues de chacun des essieux; tandis que l'autre moitié, transmise par les roues animées d'un roulement simple, ne subira aucun travail de frottement. Si donc P désigne ce tonnage, le frottement aura pour valeur $\frac{fP}{2}$ et, par conséquent, son travail :

$$\frac{fP\lambda l}{2\rho}.$$

Or $\frac{\lambda}{\rho}$ représente l'angle au centre de la courbe, et $\frac{l}{2}$ le rayon du cercle qui serait inscrit entre les rails. La perte de travail est par conséquent la même que si le tonnage *entier* glissait le long de cette circonférence, en y décrivant un arc homologue de celui de la courbe. De là un avantage évident pour les voies étroites.

638 — Supposons par exemple une déviation à angle droit, et une voie de $0^m,50$. Le quart de la circonférence inscrite sera d'environ $0^m,40$. Son produit par f [1] a pour valeur $0^m,07$. Nous avons d'ailleurs admis, dans l'exemple numérique traité ci-dessus (N° 627), qu'à une tonne de poids utile, correspond un poids mort moitié moindre, soit en tout 1500 kilogrammes. Le travail perdu sera dès lors :

$$0^m,07 \times 1500^{kg} = 105^{kgm}.$$

Il représente, comme on voit, la puissance nécessaire pour élever de 10 centimètres environ le poids utile, ce qui est loin d'être négligeable.

Supposons un wagonnet chargé de 400 kilogrammes de houille. Le travail perdu sera égal à $0,4 \times 105$ kgm., c'est-à-dire 42 kgm. Si la courbe présente 4 mètres de rayon, le quart de cercle aura pour longueur 2π ou $6^m,28$. En admettant une vitesse de $1^m,20$ par seconde, il faudrait environ 5 secondes pour franchir ce coude,

[1] On peut admettre la valeur $f = 0,18$ pour les métaux frottant à sec (Poncelet, *Introduction à la Mécanique industrielle*, p. 486).

Digitized by Google

et un développement de 8 kilogrammètres par seconde, ce qui est le maximum que l'on puisse demander à la force de l'homme.

On comprend par là que cet effet mérite d'entrer en ligne de compte, et qu'il y a lieu de chercher à l'empêcher de se produire.

639 — M. Laignel avait proposé à cet égard un dispositif ingénieux. Il consistait à supprimer le rail extérieur dans les courbes, et à le remplacer par une plate-forme circulaire, sur laquelle le roulement s'effectuerait par la circonférence du mentonnet de la roue extérieure, et non plus par sa jante. Il suffit évidemment de proportionner la saillie de ce mentonnet au rayon de la courbe, pour que celle-ci soit ainsi parcourue en roulement simple par les deux roues, devenues inégales.

Si R marque le rayon de la roue et m l'épaisseur du mentonnet, on devra pour cela établir la proportion :

$$\frac{\rho + \frac{l}{2}}{\rho - \frac{l}{2}} = \frac{R + m}{R},$$

d'où l'on déduit :

$$m = \frac{lR}{\rho - \frac{l}{2}}.$$

Reprenons les valeurs des exemples précédents (Nos 627, 638) :

$$l = 0^m,50 \qquad \rho = 4^m,00 \qquad R = 0^m,15.$$

Elles nous donneront :

$$m = 0^m,02,$$

ce qui n'a en soi rien d'irréalisable. Cependant l'assujettissement d'imposer à tout le réseau des galeries un rayon uniforme pour ses courbes, et la difficulté de guider avec ce dispositif le chariot dans les coudes, ont fait proscrire le système Laignel.

Digitized by Google

640 — Il devient d'ailleurs inutile de chercher d'une manière compliquée une solution que fournit directement pour cette question la conicité des jantes.

En effet, l'inconvénient naît ici de l'égalité des roues, supposées cylindriques. Mais, sur les jantes coniques, on peut employer pour le contact des circonférences variables, et il suffit dès lors de les faire intervenir à propos. Or, c'est ce qui se produira spontanément. En effet le train de roues, au moment où il abandonne la travée rectiligne, aborde la courbe avec deux cercles égaux. En vertu de l'inertie, il a tendance à marcher en ligne droite, en s'éloignant de la voie du côté de sa convexité. La roue externe engage par là progressivement ses plus grandes circonférences, et la roue intérieure les plus petites. On arrive ainsi rapidement à la disproportion nécessaire pour réaliser le roulement simple. Une fois ce résultat obtenu, le système s'y tiendra de lui-même, car, en dépassant le but, ou en restant en deçà, il lui faudrait vaincre un frottement de glissement plus considérable que la résistance qui correspond au roulement, ce qui exigerait un supplément de force. Or, c'est la moindre résistance qui sera surmontée la première, dans l'accroissement progressif imposé à la traction.

641 — Il reste enfin, pour le matériel de mines, une solution radicale de la difficulté, que l'on ne saurait employer sur les chemins de fer à grande vitesse. C'est l'indépendance des roues, rendues folles sur l'essieu. Chacune d'elles, formant alors un solide isolé, roule pour son propre compte, et l'inconvénient disparaît de lui-même. Mais l'appréciation de cette combinaison, qui a besoin d'être examinée de près, nous amène maintenant à l'étude du matériel roulant.

Digitized by Google

CHAPITRE XXVI

MATÉRIEL ROULANT

—

§ 1

INDÉPENDANCE DES ROUES

642 — Outre son utilité de supprimer le glissement dans les courbes, l'indépendance des roues présente celle de faciliter sensiblement le passage du véhicule à travers toutes les irrégularités accidentelles que présente une voie beaucoup plus difficile à maintenir dans un état rigoureux de précision que celle des chemins de fer à grande section de la surface. Mais ces avantages se payent par divers inconvénients.

Le premier est un défaut de stabilité. Reprenons, pour nous en rendre compte, l'équation des moments (N° 620, éq. 9), en y négligeant pour simplifier le poids de la roue devant celui de la charge :

$$T_1 = \left(\frac{fr + a}{R}\right) P_1. \tag{1}$$

Si nous l'écrivons de même pour la roue conjuguée (fig. 427), supposée indépendante de la première :

$$T_3 = \left(\frac{fr + a}{R}\right) P_3. \tag{2}$$

Digitized by Google

il viendra, en divisant membre à membre :

$$(3) \qquad \frac{T_1}{T_3} = \frac{P_1}{P_3}$$

Or, le quotient des forces parallèles T_1 et T_3 représente le rapport inverse des bras de levier déterminés par le point d'application de leur résultante qui doit équilibrer directement la force de traction, c'est-à-dire par le crochet d'attelage. D'autre part, celui de P_1 et P_3 fournit le rapport inverse des segments marqués sur l'essieu par la projection du centre de gravité, dont la situation dépend essentiellement du mode de chargement. Ce point sera donc variable, tandis que le premier est essentiellement fixe. On doit s'attendre, par suite, à des défauts fréquents de coïncidence. La conclusion à déduire est que, l'équation (3) n'étant plus alors satisfaite, la translation uniforme qu'elle suppose essentiellement (N° 620) deviendra impossible. Il se superposera par conséquent, à ce mouvement principal, certaines modifications perturbatrices, qui portent le nom de mouvement de *lacet*, et qui produisent un balancement fâcheux du chariot.

Cet inconvénient n'existe pas avec le système des roues calées, solidaires avec l'essieu. En effet, l'on n'est plus alors autorisé à poser séparément les équations (1) et (2), puisque les roues ne forment pas, dans ce cas, deux solides distincts [1].

643 — Il faut signaler encore un second défaut des roues

[1] La théorie des pentes reposait cependant, en apparence, sur l'ensemble des quatre équations semblables, que nous avons ajoutées membre à membre (N° 620, éq. 10). Mais elle n'est pas, pour cela, infirmée; en effet, lorsque les roues sont calées, l'équation des moments s'écrit directement pour l'ensemble du système tournant que deux d'entre elles forment avec leur essieu, ce qui donne alors :

$$T_1 + T_3 = \frac{fr}{R}(P_1 + P_3) + \frac{a}{R}(P_1 + P_3 + \varpi'),$$

si ϖ' désigne le poids total qui participe à la rotation. On a, de même, pour le second essieu :

$$T_2 + T_4 = \frac{fr}{R}(P_2 + P_4) + \frac{a}{R}(P_2 + P_4 + \varpi''),$$

et, en ajoutant ces deux relations, l'on retrouve la formule (10).

Digitized by Google

folles, ou en d'autres termes un avantage du système des roues calées. En effet, la solidarité de celles-ci avec l'essieu, qui se trouve lui-même en relation directe avec la caisse, en deux points aussi éloignés que possible, rend l'ensemble plus apte à supporter les chocs nombreux et violents, auxquels il est pratiquement impossible de soustraire le matériel de mines.

Pour ces motifs opposés, la solution devient à peu près une question d'appréciation, variable d'après les préférences des ingénieurs; et les deux systèmes figurent à la fois dans l'exploitation souterraine (1).

644 — On a en outre cherché à concilier, autant que possible, les avantages des deux hypothèses, au moyen de combinaisons ingénieuses, mais trop complexes pour être appelées à se répandre, dans des conditions où l'on doit, avant tout, rechercher la simplicité.

Avec le système des roues *mi-fixes* de Beaumier et Marsais (2), une seule roue est calée sur l'essieu; la seconde reste folle. De cette manière, l'indépendance est complète au point de vue du glissement, et l'on retrouve, mais seulement en partie, la stabilité due à la mise en rapport de la roue avec toute la largeur de la caisse, en raison de la solidarité qui l'unit à l'essieu.

Une autre disposition réalise à la fois, non plus partiellement, mais d'une manière complète, les deux avantages; seulement c'est au prix d'une assez grande complication (3). On emploie alors quatre essieux. Chacun d'eux ne porte qu'une seule roue, et il est solidaire avec elle. Les essieux de chaque paire étant presque contigus, les roues restent à très peu près en face l'une de l'autre, dans la construction du véhicule.

(1) Au contraire, l'hésitation ne saurait exister pour les chemins de fer à vapeur, qui n'emploient jamais que les roues calées; les deux roues et leur axe formant ce qu'on appelle un *essieu monté*. La question de stabilité prend alors, en effet, au point de vue des conséquences du déraillement pour les grandes vitesses et le transport des voyageurs, une importance qui efface absolument les autres considérations.

(2) Ce dispositif avait été adopté par la Compagnie d'Orléans, dans ses mines de fer de Mondalazac.

(3) Ce type a figuré un instant dans quelques mines du bassin de la Loire.

Digitized by Google

§ 2

ROUES

645 — La roue est venue de fonte d'un seul morceau, ou avec des rayons en fer noyés dans la coulée de fonte. Il est bon de mouler celle-ci en coquille, pour déterminer un durcissement de la surface.

On fait également des roues pleines, en tôle de fer plate, ou ondulée afin d'offrir plus de raideur. Un trou y est ménagé pour le passage de la broche qui sert à embarrer. L'avantage de ce système est de diminuer le brassage de l'air, et le tourbillonnement des poussières qui ont pour effet d'encrasser la boîte à graisse.

On substitue aussi à la fonte et au fer, l'acier qui est plus résistant sous le même poids, ce qui permet d'alléger le matériel. Ce métal est plus cher, mais plus durable, à la condition toutefois que la roue soit établie sur des dimensions suffisantes; prescription dont l'oubli a occasionné, dans le début, quelques mécomptes.

646 — Le rayon de la roue ne doit pas excéder des limites assez étroites. Trop petit, il place la traction dans des conditions désavantageuses, puisque l'expression de cette force (N° 621, éq. 13) renferme R en dénominateur. La boîte à huile se trouve alors trop rapprochée de la poussière et de la boue. En abaissant ainsi le châssis et le crochet d'attelage, on donne aux traits du cheval une inclinaison sensible, et comme conséquence, à la traction, une composante qui tend à soulever l'avant du véhicule, à dégager les mentonnets et à faciliter le déraillement.

Si inversement le rayon est trop grand, on alourdit la roue en augmentant le poids mort. Le niveau du chargement se trouve exhaussé [1]. Il n'est plus alors possible de placer la roue sous la

[1] On y remédie, pour certaines méthodes, en coupant dans le mur la voie des wagonnets, pour qu'ils accostent à un niveau un peu inférieur la plate-forme du chargement.

Digitized by Google

caisse, comme on le fait dans certains types afin d'élargir le wagon sans exagérer l'intervalle des rails.

On a cherché à concilier ces divers points de vue par l'emploi de l'essieu coudé. Le diamètre peut alors augmenter, sans que la caisse cesse d'être basse. Elle peut, en même temps, s'élargir en débordant par-dessus les roues, ce qui offre encore l'avantage de préserver ces dernières des chocs. Il est inutile de faire observer que l'on s'impose ainsi l'obligation d'employer des roues folles sur l'essieu.

La fusée doit être aussi mince que possible, car son rayon figure au numérateur de l'expression de la force de traction (N° 621, éq. 13). Cependant la question de la solidité doit primer cette considération. L'emploi de l'acier se recommande, à cet égard, comme tendant à concilier ces deux exigences opposées.

Il est bon de disposer au-dessus de la roue [1] un petit toit protecteur en tôle, pour empêcher la chute des poussiers d'empâter les huiles.

647 — Le graissage exerce en effet une influence essentielle, puisque le coefficient de frottement f figure dans l'expression de la force de traction. Il est bon d'y intéresser l'ouvrier. Le rouleur soignera mieux le wagonnet qui lui sera spécialement affecté, que ne le fera un graisseur chargé, d'une manière générale, de cette opération pour tout le matériel. Parfois on graisse au pinceau, ou en versant une goutte d'huile à travers un petit trou ménagé à cet effet. Mais il est préférable d'employer des systèmes de graissage permanent, à l'aide de boîtes à huile spéciales.

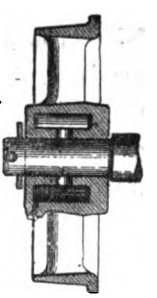


Fig. 434.
Boîte à huile.
Roues folles.
Système P. Fayol.

On en a proposé bien des types [2]. L'un des plus simples consiste en une calotte sphérique, boulonnée sur le châssis, et dans laquelle débouche la tête de la fusée. Un orifice, fermé

[1] Comme à Bessèges.

[2] Systèmes Baimbridge, Cabany, Chalmeton (*Bull. min.*, 1re, V, 39), Fontaine, Evrard (*Annales*, 6e, II, 321), Godin, Lambert (*CRM*, juillet 1879, 7).

Digitized by Google

par une vis, sert à introduire périodiquement un mélange, d'une consistance pâteuse, qui ne se perd pas à travers le joint [1].

Dans les systèmes inversables de M. Paul Fayol [2] pour les roues folles (fig. 434), et de M. Grand [3] pour les roues calées (fig. 435, 436) la boîte présente en coupe la forme d'une double bouteille

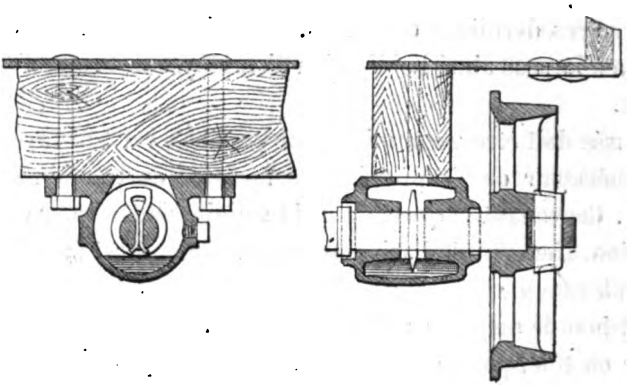


Fig. 435 et 436. — Boîte à huile. Roues calées. Système Grand (coupes transversale et longitudinale).

aplatie, dont les deux parties seraient soudées par le goulot. Elle fait corps avec la roue, dans le premier type. Elle en est indépendante dans le second, et se fixe alors sous le châssis. L'alimentation s'effectue tous les quinze jours, et le nettoyage tous les ans. La fourniture annuelle par wagonnet s'abaisse, dans ces conditions très favorables, à 4 kgr. 30, soit par jour [4] 14 gr. 40.

§ 3

ENSEMBLE DU VÉHICULE

648 — Les chariots de mine portent, suivant les localités et leur mode de construction, les noms de *wagons* (fig. 437, 438, 439),

(1) Marsaut (*Bull. min.*, XIII, 435). — Veillon (*CRM*, juin 1876, 18).
(2) *CRM*, janvier 1877, 31.
(3) *Bull. min.*, 2e, VII, 375.
(4) En supposant 300 jours de travail.

Digitized by Google

wagonnets (fig. 440, 441), *berlines* ou *berlaines* (fig. 442, 443),

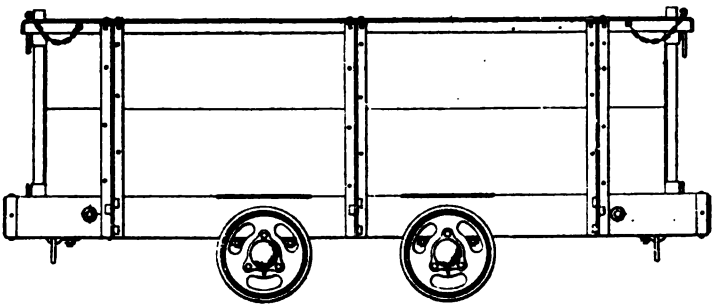


Fig. 437. — Wagon de Bessèges (élévation latérale).

bérouches, *bennes à roulettes* ou *bennes roulantes* (fig. 444, 445).

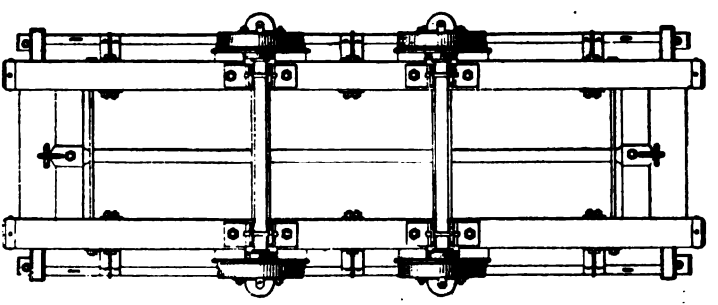


Fig. 438. — Wagon de Bessèges (plan horizontal).

Ces véhicules peuvent être employés d'après trois systèmes essentiels.

Pour le premier, aujourd'hui à peu près disparu, bien que son application puisse se justifier dans certains cas spéciaux, on emploie deux sortes de matériel. L'une, formée de petits wagonnets conduits à bras, du chantier à la mère-galerie, où ils sont embarqués sur de grands véhicules nommés *plates-formes*, *chariots-porteurs*, *trucs*, *chars à bennes* (fig. 446).

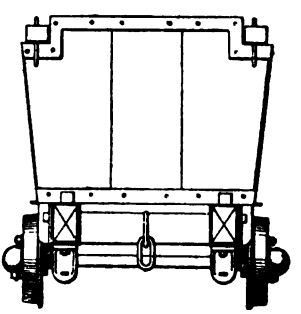


Fig. 439. — Wagon de Bessèges (élévation antérieure).

On assemble ces derniers en *trains*, *rames* ou *convois*, tirés par

Digitized by Google

des chevaux, que mènent des *conducteurs*. Ce système présente

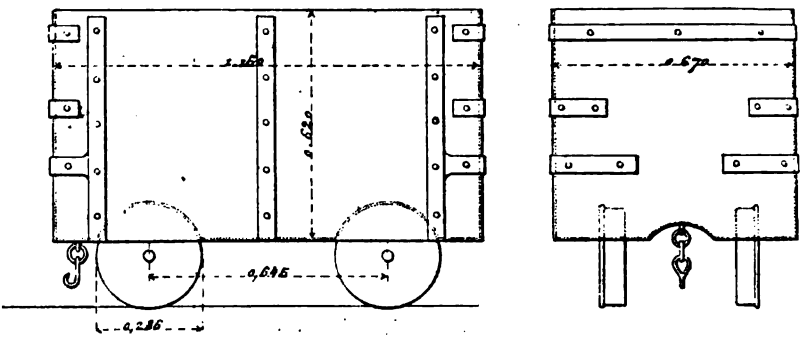


Fig. 440 et 441. — Wagonnet en bois des houillères de Béthune (élévations latérale et antérieure).

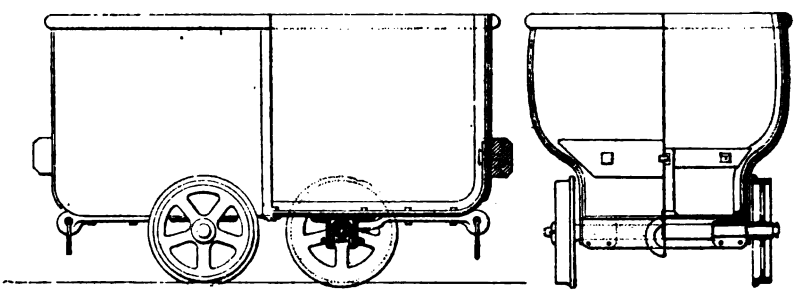


Fig. 442 et 443. — Berline en tôle des houillères d'Anzin (élévations latérale et antérieure).

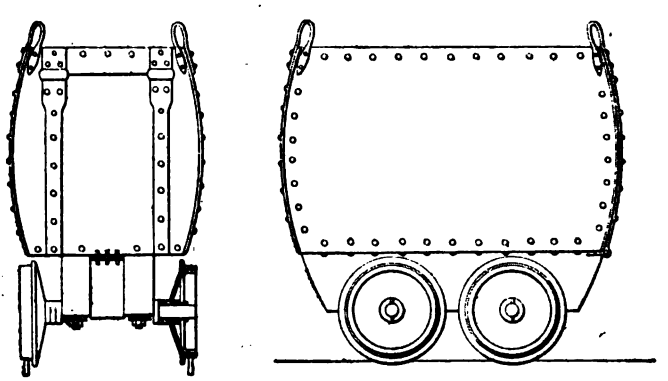


Fig. 444 et 445. — Benne à roulettes (élévations antérieure et latérale).

l'inconvénient d'augmenter énormément le poids mort. Il ne peut trouver sa justification que dans le motif d'économiser l'abatage.

Digitized by Google

en employant des tailles basses, dans lesquelles circulera un petit matériel, et coupant ensuite le mur, pour établir des galeries-

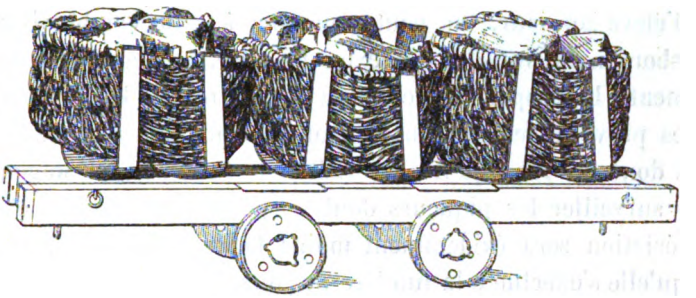


Fig. 446. — Char à bennes.

maîtresses où les chars à bennes viennent affleurer à peu près au niveau des gares d'embarquement des wagonnets (1).

(1) Ce système est poussé à l'extrême dans les mines de schistes cuivreux du Mansfeld (N° 502, note). On y emploie de petits chariots très bas. Le rouleur, fort jeune, attache sous sa cuisse gauche (fig. 447) une planchette de bois, armée, à sa partie antérieure, de deux petits pieds en fer. Pour protéger l'avant-bras, il saisit de sa main gauche une planchette analogue, munie d'une poignée, et rampe sur le côté gauche. A son pied

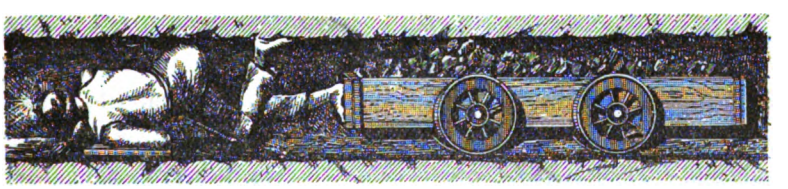


Fig. 447. — Chariot du Mansfeld.

droit est attaché, avec une courroie de cuir, le chariot, qu'il remorque ainsi jusqu'à la galerie des chevaux. Les dimensions de ce véhicule sont les suivantes : hauteur, 0m,15 ; largeur, 0m,45 ; longueur, 1m,40 ; diamètre des roues, 0m,50 ; charge, 150 kilogrammes. En sept heures de parcours effectif sur une distance de 60 mètres, le herscheur roule 10 à 20 chiens. On le paie 1 fr. 25 pour l'âge de 14 à 16 ans ; 1 fr. 60 de 16 à 18 ; 2 francs de 18 à 20 ans.

Je rapprocherai de ce petit véhicule, un moyen employé dans les galeries basses de Mazenay, pour circuler rapidement et sans fatigue. Une plate-forme carrée, de 0m,50 de côté, est montée sur de petites roulettes, et circule sur la voie ferrée. Le mineur s'y assied sur la cuisse gauche, en repliant le genou, et y déposant sa lampe qu'il maintient de la main gauche. Il se pousse alors avec le pied droit, en obtenant très facilement des vitesses, qui ne sont tempérées que par la prudence. Si l'on se trouve trop lancé, on amortit la rapidité de la marche, en labourant la voie avec la pointe du pied

Digitized by Google

649 — Avec le second système, il n'y a plus qu'un seul type de matériel roulant; mais les wagonnets ne quittent pas l'intérieur; ils déversent à l'accrochage leur contenu dans le cuffat, qui l'élève au jour. On peut reprocher à cette combinaison un transbordement inutile, qui exige une certaine main-d'œuvre, et augmente la proportion de menu (1). En outre, les charbons de toutes provenances se trouvent par là confondus dans la benne. C'est donc au fond qu'il faut visiter le contenu des wagonnets, pour surveiller les piqueurs dont ils portent la marque, et cette appréciation sera évidemment moins facile et moins exacte que lorsqu'elle s'effectue à la lumière du jour.

Pour tous ces motifs, cette combinaison a progressivement disparu, bien que l'on en rencontre encore quelques exemples. M. Alayrac tend à admettre (2) qu'au-dessous d'une profondeur d'environ 300 mètres cette organisation peut devenir économique. En outre, il est des charbonnages, tels que ceux de la Sarthe et de la Mayenne, dans lesquels, d'après la nature du combustible, la production du menu est en quelque sorte favorisée plutôt que redoutée. Ce principe s'y rencontre par suite encore, ainsi que dans quelques mines de Westphalie (3).

650 — Le troisième système représente en fait la presque totalité des applications. Le wagonnet, après avoir circulé à l'intérieur, est enlevé au jour avec son contenu au moyen de cages guidées. Il redescend ensuite à vide, pour équilibrer le poids mort pendant l'ascension d'un nouveau chariot plein. Les mouvements des véhicules n'exigent donc aucune dépense de travail, si ce n'est en raison des résistances passives dont ils deviennent l'occasion. Mais leur poids augmente la fatigue statique du câble et des molettes.

droit qui agit comme un frein. A la rencontre d'un train, on relève contre la paroi de la galerie ce petit chariot, qui est très léger.

On emploie de même, dans les mines de Gréasque, sous le nom de *courriau*, une petite plate-forme très basse, destinée à faciliter le transport des paniers.

(1) De 4 pour 100, d'après M. Guary (*Bull. min.*, 1re, IV).

(2) *Bull. min.*, 2e, I, 265. — *Rev. univ. d. m.*, 1re, XXXIV, 218.

(3) *Bull. min.*, 2e, IV, 549.

Digitized by Google

Un autre inconvénient est l'obligation d'employer un matériel de dimensions restreintes, afin qu'il puisse se loger dans les cages, sans augmenter déraisonnablement leurs dimensions, et comme conséquence, celles des puits. Mais, en revanche, cette réduction du chariot le rend apte à pénétrer dans des tailles plus exiguës, et à permettre l'emploi de jeunes gens comme rouleurs. Elle procure aussi plus de facilités pour remettre le véhicule sur la voie en cas de déraillement.

651 — Les wagons (1) se construisent, soit en bois, soit en tôle de 2 à 4 millimètres. Celle-ci est plus chère que le bois, et ses réparations sont plus difficiles. Elle est plus lourde, se rouille, se corrode par les acides. Mais comme compensation elle est plus durable. En se prêtant aux formes courbes, elle permet de donner aux véhicules un plus grand volume sans augmenter leurs dimensions extérieures. Son usage s'est beaucoup répandu (2).

Le volume reste compris entre 5 et 10 hectolitres (3); cependant, les *trams* du South-Wales contiennent jusqu'à 1750 kilogrammes. Lorsque l'on veut augmenter la contenance, il est préférable de développer le véhicule en longueur. On conserve ainsi aux galeries leur petite section, et les hommes disposent d'un plus grand bras de levier pour tourner le wagon sur les plaques.

La forme parallélépipédique est plus avantageuse, sous le rapport de la capacité, que celle d'un cylindre vertical à base elliptique, qui est également en usage. En effet, à égalité d'encombrement, les volumes seront dans la proportion de l'aire de l'ellipse au rectangle de ses axes, rapport qui a pour valeur $\frac{\pi}{4}$ ou 0,78. Les bennes elliptiques présentent, en revanche, une plus grande solidité que

(1) Vanhassel, Nouveaux wagonnets de Gilly, *Rev. univ. d. m.*, 3e, XVIII, 203.

(2) Aux mines de Liévin, les berlines en bois pesant 190 kilogrammes et contenant 415 kilogrammes de charbon coûtent 90 francs; celles en acier, pour lesquelles le poids mort est de 245 kilogrammes et le poids utile de 500 kilogrammes, reviennent à 112 francs. Les tôles de ces dernières sont galvanisées.

(3) On admet généralement que l'hectolitre de houille pèse de 80 à 85 kilogrammes, suivant la nature du charbon et la proportion de gros et de menu.

Digitized by Google

les caisses rectangulaires, malgré les ferrures dont on munit ces dernières pour consolider leurs angles dièdres.

652 — Les principales dimensions du chariot varient, en général, entre les limites suivantes, exprimées en mètres :

DIMENSIONS.		MINIMUM.	MAXIMUM.
Jeu de la roue entre les rails	rectilignes	0,010	0,015
	courbes	0,020	0,030
Saillie du mentonnet.		0,020	0,025
Largeur de la jante		0,050	0,060
Diamètre de la roue		0,200	0,400
Diamètre de la fusée.		0,030	0,040
Écartement des essieux		0,400	0,600

On trouvera d'ailleurs des éléments nombreux de comparaison dans le tableau de la page 775 (1). Les lettres B et T y servent à distinguer les wagons en bois ou en tôle; les lettres C et F : les roues calées ou folles sur l'essieu; les lettres G et H : l'emploi de la graisse ou de l'huile.

La moyenne de ces 22 exemples indique 216 kilogrammes pour le poids du wagon vide, 472 kilogrammes pour celui du chargement; 0,4959 comme rapport du poids mort au poids utile, ou plus simplement la moitié; ce qui correspond au tiers pour le rapport du poids mort au poids total (N° 627). Cependant, si l'on envisage à part le groupe des six exemples relatifs à des mines françaises, ces moyennes deviennent 265 et 578 kilogrammes, et leur rapport 0,4577; résultat plus satisfaisant.

(1) Dressé à l'aide des intéressants documents rassemblés par M. Pernolet pour l'*Agenda-Dunod des mines*, 1882, 92.

Digitized by Google

DÉSIGNATION		VÉHICULE		POIDS		DIMENSIONS			ÉCARTEMENT DES ESSIEUX	ROUES		
MINES	BASSINS	FORME	MATIÈRE	UTILE	MORT	HAUTEUR	LARGEUR	LONGUEUR		DIAMÈTRE	CALAGE	GRAISSAGE
				kilogr.	kilogr.	mètres	mètres	mètres	mètres	mètres		
Normamby	Yorkshire	rectangulaire	B T	1 370	507	1,060	0,920	1,440	0,445	0,350	C	G
Blanzy	Saône-et-Loire	circulaire	B	960	400	1,180	1,425	1,425	0,900	0,260	F	G
Bessèges	Gard	trapézoïdale	B	930	400	1,000	0,970	2,500	0,650	0,310	F	H
Reden	Sarrebrück	rectangulaire	B	500	250	0,950	0,900	1,500	0,500	0,250	C	G
Wearmouth	Newcastle	trapézoïdale	B	465	252	1,200	0,835	1,085	0,470	0,360	C	G
Montrambert	Loire	elliptique	T	440	150	0,940	0,970	1,200	0,500	0,215	F	H
Sulzbach	Sarrebrück	trapézoïdale	B	440	250	1,040	0,750	1,570	0,450	0,400	C	G
Verein-President . . .	Westphalie	berline	B T	440	275	0,850	0,500	1,750	0,500	0 380	F	H
Gosson	Liège	id.	T	440	280	1,050	0,700	1,150	0,450	0 300	C	H
Levant-du-Flenu . . .	Mons	id.	T	420	212	»	»	»	0,550	0 215	F	H
Brynn-Hall	Wigan	rectangulaire	B	406	102	0,790	0,850	1,200	0,360	0,240	C	G
Marihaye	Liège	berline	T	400	230	0,900	0,670	1,300	0,550	0,260	C	H
Anna	Westphalie	id.	B T	400	250	0,870	0,690	1,600	0,435	0,275	C	H
Anzin	Nord	id.	T	387	220	0,755	0,778	1,400	0,400	0,280	C	G
Commentry	Allier	rectangulaire	B T	384	269	0,980	0,820	1,050	0,360	0,275	F	H
Lens	Pas-de-Calais	trapézoïdale	B	368	150	0,860	0,650	1,300	0,650	0,250	C	G
Clifton-Hall	Manchester	rectangulaire	B	355	152	0,870	0,880	1,050	0,475	0,240	C	G
California	Wigan	id.	B	305	150	0,760	0,950	1,280	0,430	0,245	C	G
Nord de Charleroi . .	Charleroi	berline	T	280	130	0,780	0,670	1,150	0,400	0,200	F	H
Produits	Mons	trapézoïdale	B	280	220	0,750	0,670	1,250	0,500	0,215	C	H
Elswick	Newcastle	rectangulaire	T	275	180	0,605	0,850	1,160	0,370	0,200	C	G
Townley	Burnley	id.	T	152	127	0,510	0,805	0,974	0,387	0,228	F	H

Digitized by Google

653 — Le prix du véhicule varie dans des limites très étendues, d'après le système employé. Certaines moyennes permettent cependant d'indiquer, comme première approximation, pour chaque kilogramme entrant dans la construction : 0 fr. 60 en ce qui concerne le métal, et 0 fr. 55 avec le bois.

Je citerai, comme exemple détaillé, le devis suivant (page 777) d'un wagonnet des houillères de Carmaux [1], dont le prix coûtant ressort à 95 francs environ.

Le nombre de véhicules que doit posséder une exploitation dépend à la fois du tonnage et des distances à parcourir. Il est nécessaire de l'établir avec une grande largeur, en vue des réparations et des mauvaises répartitions, afin que les chantiers ne manquent jamais de chariots pour écouler leurs produits.

§ 4

LOCOMOTIVES SOUTERRAINES

654 — L'emploi de la voie ferrée, qui a pris naissance dans les mines, a reçu au dehors une immense expansion. Au contraire, la locomotive, dont l'invention et les perfectionnements se sont accomplis au jour, donne lieu à de très grandes difficultés pour l'accommoder au service de l'intérieur. Cette idée si naturelle s'est pourtant présentée de bonne heure [2], et malgré de nombreux échecs elle reparaît périodiquement. Elle semble entrée aujourd'hui dans une ère plus favorable.

Ce fonctionnement est installé dans de très bonnes conditions aux houillères de Cessous et Trebiau (fig. 243) [3]. Il existe également une traction par locomotives à la houillère de Marsanges (Haute-Loire), à celle du Carabinier (Charleroi), à la mine de fer de

[1] Renseignement dû, en 1877, à Sevin, directeur de ces mines.

[2] Locomotives minières (Ledoux, *Annales*, 7e, V, 391, 437, 468. — *Bull. min.*, 2e, VII, 604; IX, 129, 139; X, 307, 397. — *CRM*, 1879, 248; 1881, 118; 1882, 35. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VI, 332. — *Génie civil*, XVII, 188. — *Revue industrielle*, 1881, 264. — *Journal des mines*, 1878, 275. — *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 4 mai 1892. — *Zeitschrift für Kärnthen*, IX, 238).

[3] Bessard, *Bull. min.*, 2e, X, 307.

Digitized by Google

NATURE DES OBJETS	QUANTITÉS EMPLOYÉES		PRIX EN FRANCS			
	UNITÉS	NOMBRE	DE L'UNITÉ	DE LA FOURNITURE	DE LA MAIN-D'ŒUVRE	TOTAL
Planches en chêne de 0m,03.	Mèt. carr.	3,000	2,5000	7,50		
Madriers — de 0m,04.	Mètres	0,350	4,0000	1,40		
— — de 0m,10.	Id.	0,300	9,0000	2,70		
Pointes de 19/70	Kilogr.	0,500	0,4000	0,20		
Caisse	. . .	. . .	. . .	*11,80*	4,75	16,55
Tôle de fond de wagon . . .	Kilogr.	25,550	0,2815	7,20		
Rivets.	—	4	0,0520	0,20		
Platine fer vieux	Kilogr.	2,000	0,1500	0,30		
Fer plat 50/10	Id.	6,000	0,3700	2,22		
Fer rond de 0m,018 et 0m,016.	Id.	3,725	0,4107	1,43		
Plaques de fond. . . .	. .	. . .	. . .	*11,35*	2,95	14,30
Ferrures (55/5 et 45/5).	Kilogr.	17,433	0,3215	*5,60*	0,50	6,10
Tôles d'angle (4 tôles).	Id.	12,000	0,6900	*8,30*	0,20	8,50
Fer rond de 0m,040.	Id.	14,000	0,3200	4,48		
Fer carré de 0m,018	Id.	2,000	0,3100	0,62		
4 roues de fonte	Id.	50,400	0,2615	13,15		
Fer plat 20/5.	Id.	0,450	0,3800	0,20		
Fer rond de 0m,012.	Id.	0,320	0,3215	0,10		
Essieux	. . .	. . .	. . .	*18,55*	4,85	23,40
4 boîtes à huile en fonte . .	Kilogr.	28,600	0,3600	10,30		
4 vis taraudées 15/26. . . .	—	4	0,1500	0,60		
Boulons 12/150.	—	3	0,1500	1,20		
Antifriction	Kilogr.	1,400	1,1500	1,62		
Huile	Id.	0,500	1,0500	0,43		
Boîtes à huile.	. . .	. . .	. . .	*14,15*	1,50	15,65
Rivets divers.	—	42	0,0595	2,50		
Rondelles	—	13	0,0100	0,13		
Boulons	—	40	0,1317	5,27		
Joints en cuir	—	8	0,0500	0,40		
Montage	. . .	. . .	. . .	*8,30*	2,50	10,80
PRIX TOTAL. . . .	. . .	. . .	. . .	78,05	17,25	95,30

Digitized by Google

Mazenay (1). Dans les grandes exploitations de Laxey (île de Man), on emploie aussi ce genre de moteurs (2), ainsi que dans les charbonnages de Doman (3) et de Sieczen (Banat) (4). On le rencontre de même aux mines de pyrite de Rio-Tinto, et sur les bassins anthracifères de Pennsylvanie.

Les locomotives de mines sont souvent exposées à patiner, en raison de la grande légèreté que l'on s'attache à leur donner, afin qu'elles puissent circuler à travers des galeries relativement étroites, et ne pas fatiguer d'aussi faibles voies. L'état des rails y contribue de son côté par la condensation de la vapeur, qui les graisse en y fixant des matières fuligineuses. Les boîtes à sable, destinées à remédier à cet inconvénient, usent rapidement les bandages. Mais on peut aussi augmenter l'adhérence en dirigeant sur le rail, au devant de la roue, un jet de vapeur chaude (5), mélangée ou non d'une petite quantité de sable.

655 — Le principal obstacle que rencontre l'emploi de ces moteurs est la production de fumée et d'oxyde de carbone, qui sont envoyés dans les travaux si la ventilation entre par la galerie des locomotives, tandis que, si elle marche en sens inverse, elle amène l'air grisouteux des tailles sur les foyers ambulants. On a essayé, à Hayange, de laver la fumée dans une bâche à eau pour fixer les matières fuligineuses; mais ce procédé reste impuissant vis-à-vis de l'oxyde de carbone.

Il semble que l'on puisse, sous ce rapport, trouver certaines ressources dans l'introduction des *machines sans foyer*, que l'on appelle également *machines à eau chaude* et *machines à provision*

(1) *CRM*, 1879, 248.

(2) La voie présente une largeur de 0m,46, avec des courbes de 3 mètres de rayon. Les roues ont 0m,375 de diamètre, les cylindres 0m,10 de diamètre et 0m,15 de course. Les locomotives travaillent à 10 kilogrammes, et traînent 12 à 13 tonnes, avec une vitesse de 9 à 10 kilomètres.

(3) Chaque locomotive traîne 30 wagons, ou 22 tonnes, à raison de 7 kilomètres. Le poids de la machine chargée est de 4,5 tonnes, la surface de chauffe 8m²,5, la force totale 10 chevaux, la pression 10 kilogrammes. Les cylindres ont 0m,15 de diamètre et 0m,21 de course. Le maître-couple n'est que de 1m²,7.

(4) Holtzer, *Bull. min.*, 2e, IX, 139.

(5) *Génie civil*, III, 516.

Digitized by Google

de vapeur (1). Ce moyen a été employé au tunnel de l'Arlberg (2).

Dans le même but, le générateur à soude Honigmann a été utilisé pour les locomotives de la mine de lignite Gustave-Adolphe, à Lebendorf (3), ainsi qu'à la fosse Marie des mines de Hongen (4).

Mais une solution plus simple consiste dans les *locomotives à air comprimé* (5). Le fluide que répand alors la machine le long des galeries, au lieu d'être délétère, n'y exerce plus qu'une action bienfaisante. De grandes locomotives de ce genre ont fonctionné pendant le percement du Saint-Gothard, dont la ventilation était difficile (6). On en voit de plus petites aux mines de Graissessac, établies d'après le procédé Mékarski (fig. 448, 449, 450), avec la bouillotte caractéristique de ce système (7). Il existe également des locomotives à air comprimé dans les houillères de Pensher (Durham) (8).

Enfin depuis quelques années, les *locomotives électriques* (9)

(1) Locomotive sans feu (Lavoinne, *Annales des ponts et chaussées*, 5e, XVI, 261). — Locomotive sans feu (Stapfer, *Bulletin de l'Association scientifique de France*, n° 433, pages 308, 332). — Locomotive sans foyer (Francq, *Compte rendu de l'Association française pour l'avancement des sciences*, 1878. — Collignon, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, VI, 9. — *Génie civil*, III, 148. — Francq, *Les mondes*, XLVIII, 448). — Locomotive à vapeur emmagasinée (*CRM*, juillet 1876, 5). — Flourens, *Étude sur la traction mécanique des tramways*, Lille, 1876. — *Lumière électrique*, XV, 66, 107. — Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, I, 671. — Rolland, *Rev. univ. d. m.*, 3e, VIII, 220.

(2) *Mémoires de la Société des ingénieurs civils*, août 1885, 228.

(3) *Revue des questions scientifiques de la Société de Bruxelles*, juillet 1888, 642. — Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, II, 670. — *CRM*, 1886, 66.

(4) *Génie civil*, IV, 142. — Riedler, *Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure*, XXVII, 729.

(5) Locomotives minières à air comprimé (Mekarski, *Génie civil*, IV, 57. — Beaumont, *Portefeuille économique des machines*, 1881, 8. — Boca, *Association française pour l'avancement des sciences*, 1883, 270. — Habets, *Exposition universelle de* 1878, groupe VI, classe 50, p. 136).

(6) *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, III, 23. — Revaux, 7e, XV, 416.

(7) La voie a 0m,60; la locomotive : 1m,10 de largeur, sur 1m,55 de hauteur. Le réservoir cube 1300 litres, et renferme 56 kilogrammes d'air comprimé à 30 atmosphères. La bouillotte contient 75 litres d'eau chaude. Le diamètre des roues est de 0m,45, l'écartement des essieux 0m,80. Le poids total est, en charge, de 2300 kilogrammes (Holtzer, *Bull. min.*, 2e, IX, 129. — Chansselle, *CRM*, 1878, 208. — *Appareils exposés* par la Société générale des moteurs à air comprimé du système Mékarski. Paris, chez Éthiou-Pérou, p. 20).

(8) Elles pèsent 711 kilogrammes, marchent à la pression de 14 kilogrammes, avec des cylindres de 0m,10 de diamètre et 0m,20 de course. Elles traînent 2 à 3 tonnes, à raison de 10 à 13 kilomètres à l'heure (*Glasgow Herald* du 3 août 1878. — *CRM*, 1878, 208).

(9) Lebreton, *Annales*, 8e XI, 5. — *Bull. min.*, 2e, XIII, 201 ; 3e, III, 731 ; VIII, 597.

Digitized by Google

sont employées dans un grand nombre de mines, surtout aux États-Unis. Ce sont en général des machines à trolleys; deux bras articulés les relient à des conducteurs nus, suspendus dans la galerie, qui leur fournissent le courant; une dynamo transmet aux essieux son mouvement, convenablement réduit par des engrenages. Ces appareils présentent l'avantage d'avoir un poids constant, de ne donner ni fumée, ni vapeur, d'être peu encombrants et de ne pas nécessiter de lourds récipients d'énergie; mais ils ne sauraient jus-

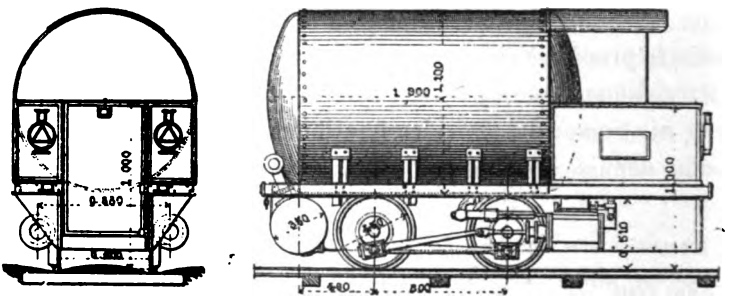


Fig. 448 et 449. — Locomotive Mékarski à air comprimé (élévations antérieure et latérale).

qu'à présent circuler dans les travaux grisouteux. On les a utilisés aux mines de Zankeroda, Hohenzollern, Neu Stassfurth (Prusse), Lykens Valley, Shawnee, Hillsyde, Earnock Colliery (États-Unis). Une intéressante application en est faite en France dans les exploitations de Marles (Pas-de-Calais).

Aux mines d'Amercœur, près de Charleroi, on a mis récemment en service des locomotives électriques mues par des accumulateurs; mais le poids, et surtout le volume des machines, deviennent alors beaucoup plus considérables.

— *CRM*, 1884, 61; 1894, 80. — *Rev. univ. d. min.*, 3e, XVI, 187; XIX, 107, Baily; XXV, 28; XXVII, 109. — *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, X, 330; 4e, IV, 723. — *Annales industrielles*, 1884, II, 715, 774. — *Lum. électr.*, XXX, 137; XXXVI, 110; XLII, 17; XLVII, 68; LI, 119. — *Génie civil*, III, 502; XIV, 135; XXII, 196; XXIV, 380. — *Publicat. de la Soc. des Ingénieurs du Hainaut*, I, 1892, 216; IV, 1895. — *Bull. du ministère des trav. publ.*, octobre 1884, 405. — Libert, *Annales des trav. publ. de Belgique*, 1894. — *Transact. americ. min.*, octobre 1891. — *Dingler's polytechnischer Journal*, 1889. — *Jahrbuch für das Berg und Hüttenwesen im Königreiche Sachsen*, 1883. — Köhler, *Lehrbuch der Bergbaukunde*, 330. — *Colliery Guardian*. 11 avril et 16 août 1895. — *Engineering and mining Journal*, 12 janvier 1895.

Digitized by Google

656 — Il convient également de mentionner, à cette place, les *locomotives routières* (1), qui ont été utilisées dans de rares occasions (2), non pas à l'intérieur des mines, où l'on n'a nulle raison de s'abstenir de poser des voies ferrées, mais à leurs abords, pour en écouler les produits sur des routes ordinaires. C'est du reste une assez fausse solution. Si le pays est peu accidenté, il se prêtera sans doute à l'établissement de chemins de fer, et s'il est montagneux, à la construction de plans inclinés, de chemins à crémaillère (3), ou de plans aériens (chap. XXIX).

Disons enfin que des locomotives ordinaires de grand modèle ont été utilisées, bien que très rarement, non plus

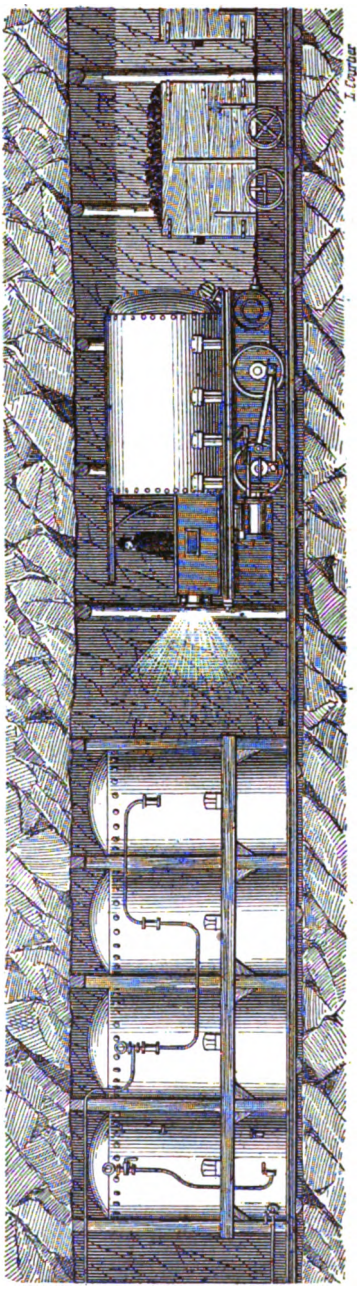


Fig. 450. — Gare de chargement des locomotives à air comprimé.

(1) Haton de la Goupillière, *Revue des progrès récents de l'exploitation des mines et de la construction des machines à vapeur* (*Annales*, 7e, XVI, 66).

(2) On les a employées aux mines de Sain Bel, sous la forme de tricycles, afin de moins fatiguer les ornières. Elles conduisaient des trains de 16 à 20 tonnes. Mais elles ont disparu lors de l'établissement d'un grand plan automoteur.

(3) Abt, Chemins de fer à crémaillère dans deux mines, *Bull. Soc. d'enc.*, 28 mars 1884.

Digitized by Google

pour la traction libre sur palier, mais pour élever les matières sur des rampes très redressées. Seulement, comme elles ne sauraient les gravir elles-mêmes en raison de la simple adhérence, on les fait alors travailler comme les chevaux, quand on emploie ces derniers pour des conditions analogues; c'est-à-dire qu'elles circulent sur un palier, en halant le train sur la pente à l'aide d'un câble et d'une poulie de renvoi établie au sommet du plan incliné [1].

Les considérations relatives à l'utilité des locomotives pour les mines devaient naturellement trouver leur place dans ce chapitre, consacré au matériel roulant. On y remarquera un premier exemple des *tractions mécaniques*, dont l'emploi plus développé, à l'aide de *moteurs fixes* fera l'objet du chapitre XXVIII.

[1] A Marsanges (Haute-Loire); à Saint-Pierre-d'Allevard (Isère).

Digitized by Google

CHAPITRE XXVII

PLAN INCLINÉ AUTOMOTEUR

—

§ 1

ENSEMBLE DU MÉCANISME

657 — *Classification des plans inclinés.* — Lorsque l'inclinaison d'une galerie souterraine ou d'une voie de la surface excède la limite étroite que nous avons déterminée pour le roulage libre des chariots, et se trouve supérieure à la pente de glissement (N° 618), il devient nécessaire de maîtriser le mouvement de ces véhicules en les attachant à un câble. Sauf l'appoint nécessaire, celui-ci présente en général la longueur même du *plan incliné*. Il passe sur une poulie, installée au sommet suivant un plan parallèle à celui de la voie (fig. 451).

L'inclinaison devenant alors à peu près indifférente, on adopte ordinairement le chemin le plus court, en disposant l'ouvrage suivant la ligne de plus grande pente du gîte. Dans certains cas cependant on se met en demi-pente, quand le plongement devient tout à fait excessif.

Ce dernier dispositif s'applique encore [1], quand des rejets sensiblement parallèles entre eux découpent le gisement en une série de champs d'exploitation, compris entre les diverses intersections du gîte et de ses croiseurs. Lorsque ces droites seront obliques sur la direction, les panneaux, au lieu de présenter la

[1] Decize (Nièvre, la Machine).

Digitized by Google

forme d'un rectangle, affecteront celle d'un parallélogramme. Il sera dès lors naturel, pour égaliser les services de part et d'autre, de disposer suivant sa ligne médiane le plan incliné qui sert d'artère à la production.

Il peut arriver que des inflexions du gisement (ou de la surface du sol, s'il s'agit d'un plan extérieur) obligent à dévier le profi

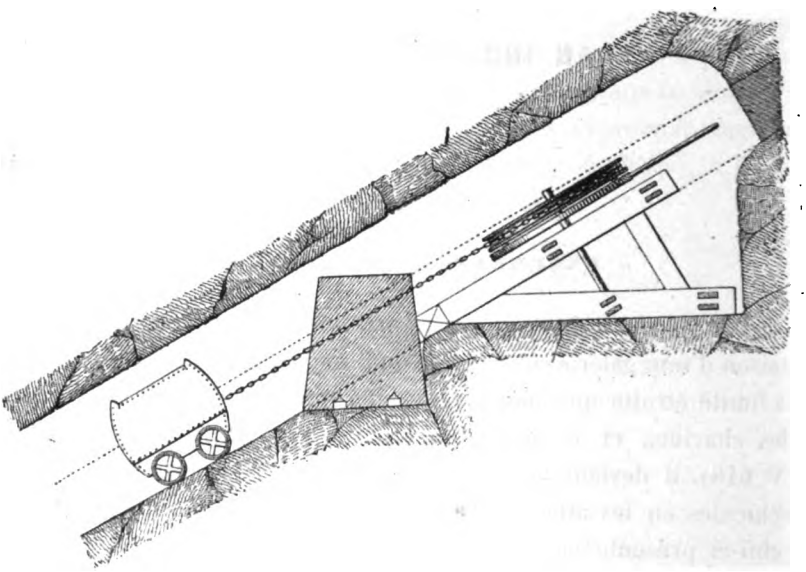


Fig. 451. — Plan incliné automoteur.

de la ligne droite; mais c'est toujours une combinaison regrettable. On adopte alors, en projection, une ligne polygonale, et les différents plans se rejoignent à l'aide de raccordements paraboliques (1), avec des congés de 20 à 25 mètres de rayon au minimum. Il y a beaucoup moins d'inconvénient à l'adoption de plusieurs pentes successives, disposées suivant un profil convexe dans un même plan vertical, pour suivre les ondulations du sol (2).

(1) Molières (Gard), Somorostro (Biscaye).

(2) Le grand plan incliné de la Chazotte (Saint-Étienne) se développe ainsi sur plus d'un kilomètre de longueur. Parmi les plans les plus longs je citerai également ceux de Cadegal à Somorostro (*Bull. min.*, 2e, XIV), de Bessèges de 1398 mètres, de Briançon de 1500 mètres (*Public. indust. d'Armengaud*, 2e, IX, 97).

Digitized by Google

658 — En ce qui concerne l'usage que comportent les plans inclinés, deux cas peuvent se présenter. Si, conformément à la règle ordinaire, le minerai n'a qu'à descendre à un niveau inférieur, il est inutile de se préoccuper d'un moteur. La gravité suffit, non seulement pour faire descendre le train et son chargement, mais encore pour remonter un nombre égal de wagons vides, attachés à l'autre extrémité du câble. Les deux poids morts s'équilibrent en théorie. Quant aux résistances passives auxquelles ils donnent lieu, elles s'ajoutent entre elles, et avec celles qui sont dues à la présence de la charge utile. Mais la descente de celle-ci suffit, et au delà, dès que la pente est importante, pour les compenser par un travail positif, dont la plus grande partie restera même disponible. Cet excédent déterminerait par conséquent un accroissement progressif de la force vive, si on ne le détruisait au fur et à mesure de sa production par l'application d'un travail négatif numériquement égal, développé par un frein à la demande de l'accélération qui tend à se produire. De cette manière le train, après une courte phase accélératrice de mise en mouvement, descend uniformément, puis le serre-frein amortit définitivement sa vitesse, pour le déposer sans choc à la recette inférieure. Un tel appareil, dont nous étudierons avec soin tous les détails, porte le nom de *plan incliné automoteur*.

Il en est tout autrement lorsque des *travaux en vallée* se trouvent en contre-bas du niveau auquel il s'agit de faire parvenir leurs produits. Ceux-ci ont alors à *gravir une rampe*, au lieu de *descendre une pente*. Un moteur spécial devient par suite nécessaire. Cet ensemble est appelé *traction mécanique*. Ajoutons que des appareils moteurs tout semblables sont également employés en palier, pour vaincre le travail négatif des résistances passives, qui demeure alors seul, sans l'adjonction de celui de la gravité. On substitue par là, pour les conditions ordinaires du roulage, une machine fixe aux moteurs ambulants : homme, cheval ou locomotive, que nous avons vus jusqu'ici appliqués à cette fonction.

L'étude des tractions mécaniques formera l'objet du chapitre sui-

Digitized by Google

vant, celui-ci restant exclusivement consacré à ce qui concerne les plans automoteurs.

659 — *Plan à simple effet.* — Les plans inclinés automoteurs peuvent être à *simple effet* ou à *double effet*. De plus, chacun de ces deux modes fondamentaux comporte trois variantes distinctes. Envisageons d'abord le simple effet.

Ce système convient pour des services d'une activité modérée, car il emploie deux fois plus de temps que le second; les manœuvres de descente du matériel plein, et de remontée des véhicules vides, étant alors successives et non plus simultanées. De plus, on ne fait la plupart du temps mouvoir de cette manière qu'un seul wagon à la fois, bien que le contraire soit cependant admissible. Sur la seconde voie circule alors un *chariot-contrepoids*, dont la masse est *intermédiaire* entre celles du wagon plein et du wagon vide. Le contrepoids est donc entraîné vers le haut par la descente du chariot plein; mais il remonte ensuite, en raison de sa propre descente, le wagonnet vide que l'on substitue au précédent à la recette inférieure.

Dans une première variante, la seconde voie est latérale. On peut alors, sans que ce soit cependant une nécessité *a priori*, mais en vue de diminuer la portée du plafond, prendre cette voie plus étroite, puisqu'elle est exclusivement affectée à un véhicule spécial. Ce type convient surtout quand les travaux ne se développent que d'un seul côté du plan incliné.

Avec la seconde variante, la voie du contrepoids est située entre les rails de la première, et ce chariot très massif est en même temps assez bas pour pouvoir passer sous la berline, à l'instant de la rencontre. On a soin d'ailleurs de creuser un peu la voie en ce point.

Pour une troisième variante, le plan incliné ne présente plus qu'une seule voie. Le contrepoids, au lieu de circuler dans la même galerie que le matériel roulant, descend verticalement à l'intérieur d'une bure, pratiquée à la tête du plan. Rien n'empêche du reste de donner à ce puits une profondeur beaucoup moindre que la longueur du plan; ce qui serait cependant nécessaire, si le même

Digitized by Google

câble, passant sur une poulie verticale, soutenait, à ses deux extrémités, le contrepoids et le wagonnet. Il suffira d'attacher chacun de ces derniers à deux câbles distincts, passant respectivement sur des tambours dont les rayons présentent le même rapport que les longueurs des deux ouvrages. Il va sans dire, en même temps, que pour conserver l'égalité des travaux, en dehors de l'influence des résistances passives, on devra modifier la masse du contrepoids en raison inverse de la hauteur que l'on substitue, pour son parcours, au plan incliné.

660 — *Plan à double effet.* — Dans le système à double effet, une première variante présente, d'un bout à l'autre du plan, deux voies distinctes, c'est-à-dire quatre rails. C'est le mode le plus simple; mais il exige beaucoup de largeur pour l'ouvrage, et de portée pour le plafond. Tout au moins réduit-on, autant que possible, l'entre-voie et l'espace qui sépare le véhicule des piédroits, ce qui crée un danger extrêmement grave pour la circulation des hommes. Celle-ci d'ailleurs doit être absolument interdite, en principe, sur les plans inclinés (1); on ne l'autorise qu'en cas de nécessité et sous réserve de précautions spéciales, destinées à éviter la mise en marche pendant que des hommes s'y trouvent.

Avec la seconde variante, dite *à trois rails* (fig. 452), les deux voies ont un rail commun. Au milieu de la longueur seulement, et sur une étendue suffisante pour contenir les plus longs convois, l'on rétablit les deux voies complètes afin de permettre le croisement des trains montant et descendant.

Dans la troisième variante (fig. 453), le plan n'a plus qu'une seule voie, c'est-à-dire deux rails (2). Pour la raccorder avec l'évitement, qui présente encore les deux voies complètes, on emploie des aiguilles que les wagons de tête manœuvrent eux-mêmes. Supposons en effet les deux rames à la rencontre, et le train descen-

(1) A la mine de la Machine (Decize), on a construit un montage en voies jumelles pour mieux assurer l'aérage pendant le percement. Un plan incliné a été ensuite établi dans la plus grande des deux galeries, et la circulation des hommes se fait dans l'autre.

(2) Dans le plan incliné représenté par la figure 453, cette disposition n'existe que pour la moitié inférieure de la galerie.

Digitized by Google

dant placé sur l'évitement de gauche. L'aiguille lui est actuellement fermée, mais son mentonnet externe s'ouvrira passage, tandis que le mentonnet interne plaquera la seconde aiguille contre le rail.

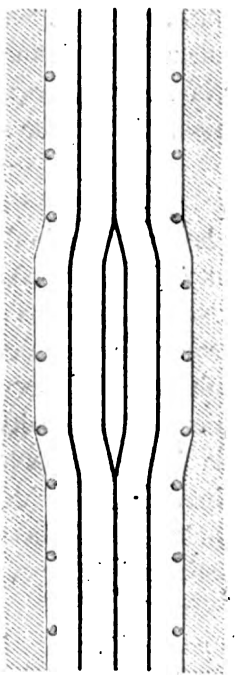


Fig. 452. — Plan incliné à trois rails.

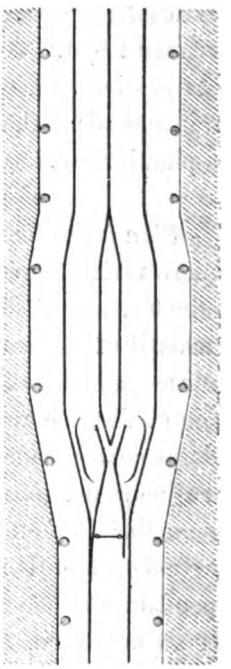


Fig. 453. — Plan incliné à voie unique.

Les choses restant en cet état, rien ne s'opposera, pour la manœuvre suivante, à la remontée du train vide par le même évitement. Le train qui descend alors sur la voie de droite, exécutera pour son propre compte des manœuvres semblables.

§ 2

DETAILS DU MÉCANISME

661 — *Câble.* — L'importance du câble est telle que nous lui consacrerons, dans la théorie de l'extraction, la totalité du cha-

Digitized by Google

pitre XXXI. Nous nous bornerons dès lors ici [1], à ce qui concerne spécialement son application au plan automoteur. Elle peut se faire suivant trois modes distincts.

Le premier emploie *un câble sans fin* [2]. Sa longueur totale est sensiblement double de celle du plan. On le fait passer sur deux poulies, dont l'une se trouve installée à la tête du plan incliné dans les conditions ordinaires. La seconde, placée à la partie inférieure, est montée sur un axe porté par un châssis mobile, sollicité par un poids afin de mettre les deux brins en tension. La pesanteur se trouve alors, à chaque instant, en équilibre sur toutes les parties du câble, tandis que, dans les autres systèmes, elle détermine des perturbations importantes. En outre, le service peut se faire indifféremment pour tous les sous-étages desservis par le plan. Si en effet une costresse quelconque fournit un wagon plein, qu'il s'agit de descendre par le câble à la recette inférieure, l'autre brin, se mouvant d'une quantité rigoureusement égale, remontera un wagon vide du pied du plan à la même galerie.

662 — Avec le second mode, on emploie *un câble à deux bouts*, et une poulie unique placée à la tête du plan. Si le quartier présente plusieurs sous-étages, on compose le câble de *mises distinctes*, que l'on peut assembler ou désassembler facilement à l'aide de manchons à vis. Imaginons que, de la poulie de tête, descendent de part et d'autre, sur toute la longueur de l'ouvrage, deux brins dont les tronçons successifs correspondent exactement aux diverses costresses. Pour en desservir une quelconque, nous détacherons par la pensée toute la portion de l'un des brins qui se trouve située entre cette galerie et le pied du plan, et nous remplacerons cette partie par le wagon plein. Un chariot vide attaché à l'autre extrémité, à la recette inférieure, éprouvera un déplacement égal à la descente du wagonnet chargé, et remontera par conséquent au

(1) Insistons cependant sur ce que le peu de largeur des installations, et par suite des poulies, exige, pour cette application spéciale des câbles d'acier, un misage tout particulier de nature à procurer plus de souplesse que pour l'extraction verticale (Bague, Câbles d'acier pour plans inclinés, *CRM*, 1889, 96).

(2) Desailly, *CRM*, 1883, 66. — *Bulletin* de la Société des Ingénieurs sortis de l'École spéciale d'industrie et des mines du Hainaut, XII, n° 4.

Digitized by Google

même niveau. Cette manœuvre alternative pourra ensuite se renouveler indéfiniment.

Lorsqu'il s'agira de changer de sous-étage, l'un des câbles étant supposé aboutir à la recette inférieure, on allongera ou l'on raccourcira l'autre brin, de ce qui est nécessaire pour qu'il se termine à la nouvelle galerie, en assemblant ou désassemblant les tronçons qui séparent celle-ci de la précédente. Tout se trouvera dès lors, comme la première fois, prêt en vue de ce nouveau service. Afin de faciliter ces manœuvres, des étaux servent à pincer les tronçons pour les maintenir en place le long des voies, et empêcher leur glissement sous l'action de la pesanteur, pendant qu'ils ne sont pas utilisés.

663 — Le troisième mode fait intervenir *deux câbles à deux bouts*, mesurant chacun toute la longueur du plan. Au lieu de *passer sur une poulie sans s'y fixer*, comme dans les cas précédents, ils *s'enroulent sur deux tambours distincts en y demeurant adhérents*. Ces tambours sont montés sur un même axe, élevé normalement à la tête du montage, et les câbles s'y disposent en deux sens opposés. Si donc on imagine que l'un d'eux soit complètement enroulé, de manière à permettre d'attacher à son extrémité un chariot plein, à la recette supérieure, l'autre brin se trouvera par cela même entièrement déroulé. On pourra donc, au pied du plan, l'atteler à un wagon vide. Dans ces conditions, la manœuvre se fera un nombre quelconque de fois sur toute la longueur de l'ouvrage. Pour changer de sous-étage, on profite de ce que l'un des tambours peut être à volonté calé, ou rendu fou sur l'axe commun. L'autre brin étant complètement déroulé, on déclenche le tambour, actuellement garni de la totalité de son câble, et on laisse filer celui-ci par la rotation de ce tambour rendu indépendant, sans entraîner le second, jusqu'à ce que l'extrémité de ce brin descende à la costresse qu'il s'agit de desservir. Dans cette situation, on renclenche la clavette qui établit la solidarité des deux treuils, et l'on peut alors faire le service entre ce niveau et la voie de fond. Il ne diffère du précédent qu'en ce que le mécanisme, au lieu de se trouver à la tête de la travée actuelle, est

Digitized by Google

installé beaucoup plus haut, à une distance représentée par des portions de câbles qui restent rectilignes, sans jamais s'enrouler pendant ce nouveau fonctionnement.

664 — *Poulie.* — L'axe de la poulie de renvoi, ou du tambour d'enroulement, s'implante, comme nous l'avons dit, perpendiculairement au plan incliné, de telle sorte que celui-ci soit parallèle au plan de la poulie [1]. Cette dernière présente dans sa gorge un diamètre égal à l'intervalle des axes des deux voies, diminué du diamètre du câble, afin que les deux brins se trouvent exactement disposés suivant les axes de ces voies.

La gorge est fouillée en demi-tore. On peut aussi la former de deux troncs de cône, réunis par leur petite base, pour que la tension du câble lui communique une tendance à s'imprimer comme un coin dans cette fente, de manière à augmenter la pression normale, et par suite l'adhérence.

On sait que celle-ci augmente très rapidement avec l'angle au centre embrassé par l'enroulement [2]. On peut donc, en vue d'équilibrer par une adhérence suffisante une force de traction considérable, en évitant le glissement qui supprimerait radicalement l'action du frein, avoir besoin d'accroître cet angle au delà d'une demi-circonférence. On lui donne alors pour valeur un nombre impair quelconque $2n + 1$ de demi-circonférences, en enroulant n fois le câble sur la jante de la poulie, suivant des spires juxtaposées. Si cette disposition se pratiquait avec une surface cylindrique d'axe horizontal, la spire de gauche disparaîtrait par le déroulement à chaque révolution, tandis qu'une nouvelle circonférence apparaîtrait à droite en raison de l'enroulement. Le point de contact se déplacerait donc incessamment vers la droite. La poulie devrait par conséquent présenter, suivant ses génératrices, une largeur proportionnelle au développement du plan incliné, laquelle serait souvent irréalisable. On remédie à cette difficulté au moyen de diverses solutions.

(1) Villot, Notes sur quelques détails de plans inclinés automoteurs, *Annales*, 8e, XVI, 409. — Vanhassel, Poulies de plans automoteurs, *Bull. min.*, 3e, IX, 149.

(2) Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 416.

Digitized by Google

665 — La première consiste à donner à la jante une conicité très accusée, de telle sorte que le câble, ne pouvant s'y tenir en équilibre, glisse latéralement vers la plus petite base. Le point d'enroulement revient par suite incessamment à cette extrémité, au fur et à mesure qu'il éprouve géométriquement, ainsi que nous l'avons expliqué, une tendance à s'en éloigner.

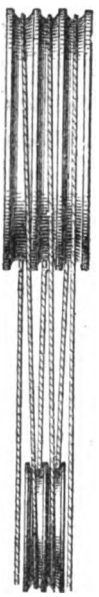


Fig. 454. Double treuil d'adhérence.

666 — Un autre moyen consiste dans l'association d'un second treuil au premier. On y refouille n gorges distinctes, tandis que celui-ci en présente de son côté $n+1$ (fig. 454). Dans ces conditions, les $2n+1$ demi-circonférences d'enroulement alternent de l'un sur l'autre des deux solides. Le câble, n'adhérant jamais par plus de 180 degrés consécutifs environ, se détache chaque fois de la jante dans les conditions ordinaires, sans donner lieu à la circonstance qui produisait le déplacement latéral [1]. Ajoutons que ce système peut encore lui-même se réaliser de deux manières différentes, selon que les brins se trouvent disposés suivant les tangentes extérieures ou intérieures des deux cercles. Cette dernière variante a évidemment pour effet d'augmenter l'arc embrassé, et par suite l'adhérence ; mais, si le câble est métallique, elle le fatigue davantage, en lui imposant des flexions alternatives dans les deux sens.

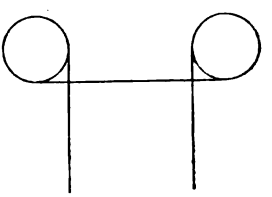


Fig. 455.

J'indiquerai en particulier (fig. 455) une disposition fort simple qui a été adoptée à Somorostro, et qui procure sans complication une adhérence de 3π, au lieu de l'enroulement égal à π que fournit le mode ordinaire.

[1] Il importe de remarquer que l'on utilise pour l'adhérence les angles $(2n+1)\pi$, ou seulement $(n+1)\pi$, suivant que l'on a freiné les deux arbres ou uniquement le treuil principal.

Digitized by Google

667 — Une troisième solution, qui se répand tous les jours davantage, consiste dans l'emploi d'une poulie unique du type Fowler (fig. 456, 457). Sa jante est garnie d'une double série de cames à bascule. Sous l'influence de la pression transversale exercée par le câble, en raison de la tension qu'il éprouve, ces appendices se referment sur lui comme des tenailles, et opposent à la

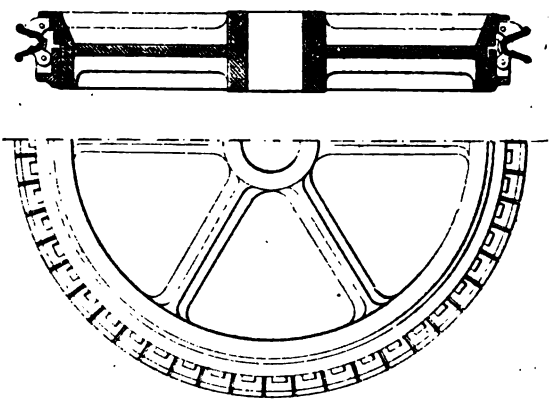


Fig. 456 et 457. — Poulie Fowler (coupe verticale et plan).

tendance au glissement une énergie de serrage qui lui est précisément proportionnelle, d'après un rapport de bras de levier dont on reste d'ailleurs maître dans la construction de la poulie. Le glissement devient donc rigoureusement impossible, quelque intense que soit la force qui tendrait à le produire ([1]).

668 — *Frein.* — Pour amortir la rapidité du mouvement, en détruisant par un travail négatif le travail positif de la gravité, on peut employer deux sortes d'appareils : les *freins* ou les *régulateurs*.

Le frein fait intervenir l'action spéciale de l'homme, que celui-ci peut graduer arbitrairement d'après son appréciation des besoins de la manœuvre. Il en existe deux types distincts ([2]).

([1]) M. de Champigny a également proposé un type de poulie à adhérence (*CRM*, 1880, 28; 1887, 82).

([2]) Portal, Freins à bobine folle des plans inclinés de Cessous et Comberedonde, *Bull. min.*, 3e, I, 473.

Digitized by Google

Dans un premier dispositif, le serre-frein développe directement, par son action musculaire, la force destinée à fournir la résistance. Pour ralentir le mouvement, il devra donc augmenter son effort; pour activer la vitesse, au contraire, il mollira plus ou moins son action.

Avec le mode inverse, on commence par opposer à la tendance au mouvement une résistance fixe et surabondante, de telle sorte que la mise en train ne puisse se produire d'elle-même. Le *freinteur* agit alors en sens contraire du cas précédent, en joignant son effort à l'action de la pesanteur, au lieu de s'établir en antagonisme par rapport à elle. On arrive ainsi à réduire la résistance, de manière que le mouvement arrive à prendre naissance. S'il veut ralentir ou arrêter, le garde-frein n'a qu'à diminuer son action; pour accélérer le mouvement, il lui faut la renforcer en proportion de l'effet à obtenir.

Dans la pratique, l'hésitation n'est pas possible entre ces deux principes. *Le frein doit être normalement serré*, l'enchaîneur n'agissant que pour le desserrer [1]. Avec l'ancien mode, en effet, le serre-frein peut se trouver maîtrisé par une vitesse croissante, tandis qu'il voit sa propre force décroître par la fatigue musculaire. Il peut se trouver pris d'un étourdissement, ou être victime d'un accident capable de paralyser son action. Dans de telles conditions, le convoi abandonné à lui-même se précipitera sur la pente, et se brisera à la partie inférieure en déterminant les plus graves désordres. En adoptant au contraire le second système, si l'homme est mis hors de combat, c'est l'action motrice qui se trouve par là diminuée, et le train rentre dans l'immobilité.

669 — L'organe récepteur sur lequel agit le freinteur est le plus souvent un simple levier, de nature à multiplier sa force dans un rapport important. On emploie également une vis (fig. 458), avec laquelle on peut obtenir pratiquement une puissance beaucoup plus grande, laquelle, une fois mise en serrage, y reste sans que le garde-frein ait besoin de maintenir en permanence son effort mus-

[1] La circulaire ministérielle du 25 avril 1887 a rendu cette disposition obligatoire. *Annales*, partie administrative, 8e, VI. 173.

Digitized by Google

culaire; mais ce dernier dispositif ne s'adapte pas aux freins normalement serrés.

L'organe opérateur, qui agit d'une manière immédiate sur le corps tournant, est ordinairement un simple sabot de bois pressant normalement contre une partie cylindrique de la jante. On emploie aussi le frein à bande de tôle, dont l'action est beaucoup plus énergique [1].

Le levier doit être guidé de manière à effectuer sa rotation dans un plan déterminé. Si un mauvais assemblage lui laissait la latitude d'une sorte de mouvement de rotule, il pourrait s'accrocher aux boisages au moment où on l'abandonne pour rétablir la pression. On risquerait ainsi de voir se produire un accident qui n'est pas sans exemple.

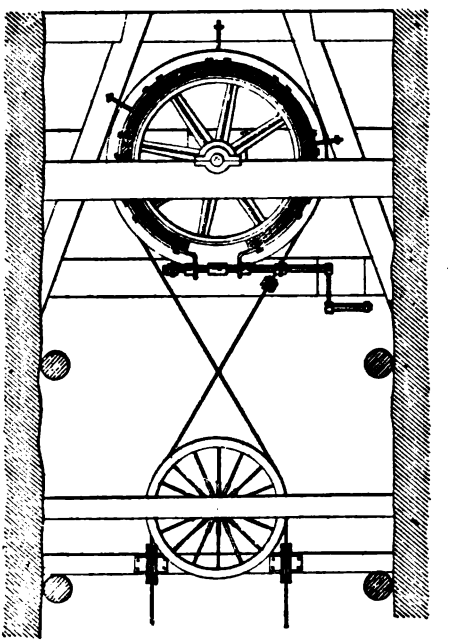


Fig. 458. — Frein à vis.

670 — *Régulateur.* — Le régulateur diffère du frein en ce qu'on y substitue, à l'action musculaire du garde-frein, une résistance passive fonction de la vitesse. Ce mode d'action laissera donc le mouvement prendre naissance, et s'accélérer progressivement jusqu'au degré pour lequel la résistance ainsi développée fera équilibre au travail de la gravité [2]. Par là on perd, à la vérité, les avantages d'une action personnelle et graduée d'après l'appréciation des circonstances. Mais on réalise, par compensation, une fixité plus satisfaisante de l'allure, puisque

(1) Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 417.

(2) *CRM*, 1881, 185, Rossigneux; 1882, 36, Durand; 1883, 106, Caillot. — Griot, *Bull. min.*, 2e, X, 647.

Digitized by Google

sa réglementation devient alors automatique. Cet avantage est surtout apprécié pour les grands plans de la surface, tandis que l'intervention arbitraire de l'enchaîneur est ordinairement préférée dans l'intérieur.

La résistance des fluides fournit très simplement le principe de l'action de ces régulateurs. On peut la demander d'ailleurs à l'air ou à l'eau. Une roue à palettes (fig. 459) est mise en rotation, à l'aide d'un train d'engrenage, par le tambour d'enroulement du câble. L'action de l'atmosphère est si puissante que l'on a dû, à Saint-Pierre-d'Allevard, réduire successivement la surface des palettes et finir par les supprimer complètement, la carcasse de l'appareil suffisant pour brasser l'air de manière à équilibrer le travail de la gravité à une vitesse convenable.

671 — Avec le régulateur Villiers, on fait tourner la roue dans l'eau, afin d'augmenter la résistance à égalité de surface, de manière à diminuer les dimensions de l'appareil. Des expériences ont été faites à Commentry sur le plan incliné extérieur de Marignon, qui présente 650 mètres de longueur, et rachète une différence de niveau de 96 mètres. La mesure de l'échauffement de l'eau, rapprochée de celle du travail de la pesanteur, a montré que les deux tiers seulement de ce travail étaient absorbés directement par la résistance du liquide, et que le surplus passait dans les résistances passives de l'appareil et de l'atmosphère. On peut également employer un bain d'huile.

Il est nécessaire de remarquer, qu'avec ces organes, la vitesse ne saurait demeurer absolument constante, car l'un des câbles se raccourcit, l'autre s'allonge, et par suite les poids des deux trains sont incessamment variables. Cette cause de perturbation se retrouvera plus loin dans le problème de l'extraction, et y prendra même assez d'importance pour que nous consacrions à son étude la totalité du chapitre XXXIII. Je me contenterai de dire, en ce moment, que l'on a introduit dans quelques plans inclinés de grande dimension [1] certains appareils, dérivés des solutions relatives à l'extraction

[1] Comme à Saint-Pierre-d'Allevard.

Digitized by Google

verticale (fig. 459), et sur lesquels nous aurons occasion de revenir plus tard.

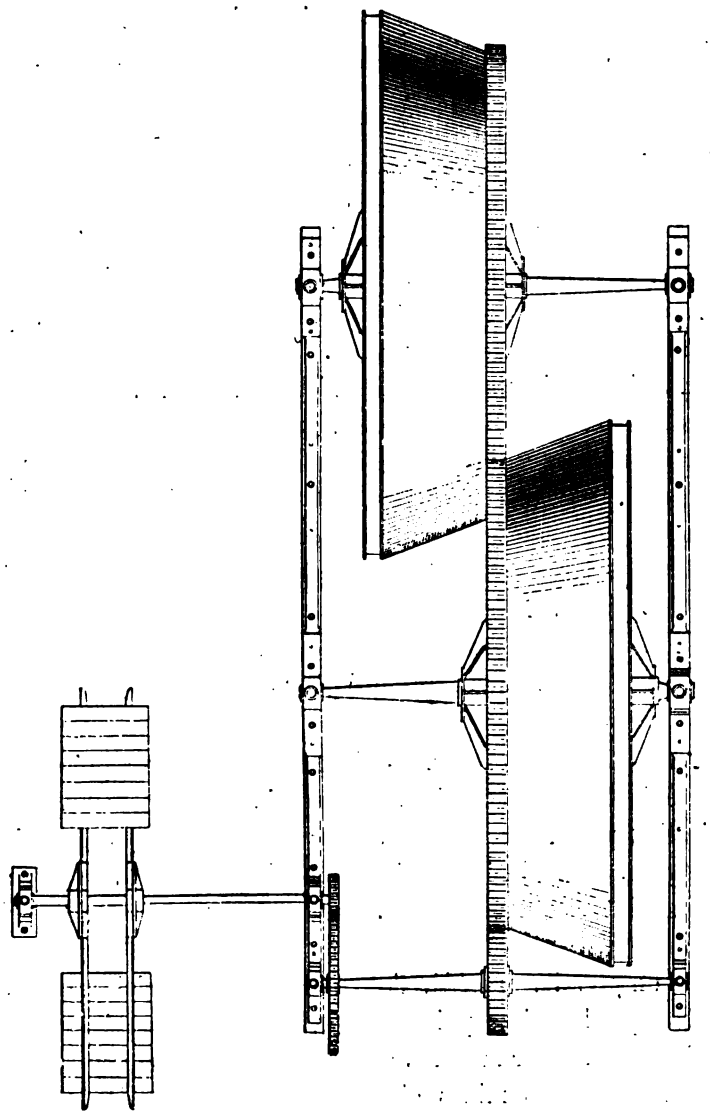


Fig. 459. — Régulateur à ailettes et tambours coniques.

672 — *Rouleaux.* — Le frottement du câble sur le sol, si on le laissait s'effectuer sans intermédiaires, développerait une grande

Digitized by Google

résistance [1], en même temps qu'une usure fâcheuse de cet organe si essentiel. Pour éviter ce double inconvénient, l'on dispose en travers de la voie des rouleaux de bois, qui tournent sur des axes horizontaux, et sur lesquels passe le câble de manière à substituer le roulement au glissement. Il en devrait du moins être ainsi. Malheureusement ces rouleaux sont souvent mal entretenus. Ils arrivent à cesser de tourner, et ne constituent plus dès lors qu'une complication sans utilité.

Dans les cas très rares où le plan incliné est formé de deux travées rectilignes, on doit installer, à leur point d'intersection, un rouleau de renvoi ayant son axe perpendiculaire au plan formé par les deux brins du câble.

Aux trois grands plans de Saint-Pierre-d'Allevard, on a employé 1200 rouleaux d'un diamètre assez grand pour qu'il ait fallu les former de douves, comme des barils, afin de leur communiquer plus de légèreté. Deux cercles en fonte sont évidés suivant une rainure circulaire, présentant une entrée. Les douves, engagées dans ces rainures par leurs extrémités, sont poussées à fond les unes à la suite des autres. L'assemblage est ainsi rapide et solide. La dernière forme clef, et on l'assujettit à l'aide de deux boulons. Le démontage devient par là très aisé pour les réparations.

673 — *Chariot-porteur.* — L'inclinaison du plan présente cet inconvénient capital, que l'axe de symétrie du chargement perd sa verticalité, pour rester normal à la voie, au moment où le véhicule s'y engage. Cette irrégularité devient inadmissible, lorsque la pente atteint 25 ou 30 degrés. On a employé pour y remédier divers moyens.

Dans un premier procédé, l'on articule le matériel roulant, de manière que la caisse puisse conserver sa verticalité lorsque le châssis se trouve sur la pente. C'est le cas des bennes roulantes usitées dans certaines mines d'anthracite de l'ouest de la France (fig. 460). Le centre de gravité du cuveau étant situé au-dessous de

[1] C'est en effet celle du *guide-rope* qui est employé pour amortir la course des aérostats, au moment de l'atterrissage.

Digitized by Google

l'axe de suspension, le système prend de lui-même une position d'équilibre stable.

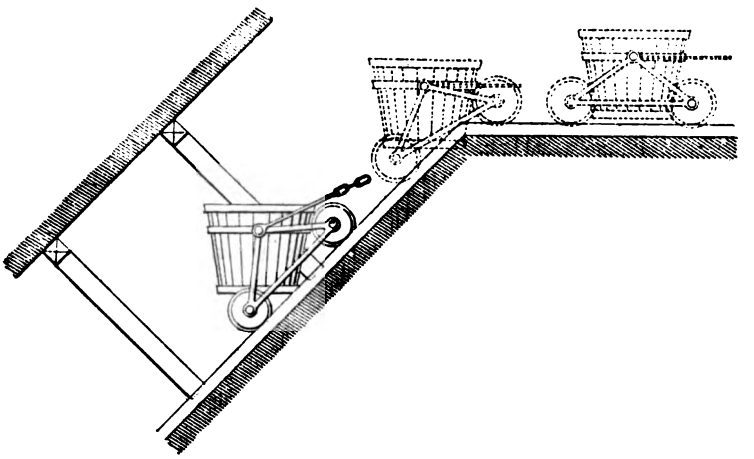


Fig. 460. — Bennes à bascule.

On a employé de même des plates-formes circulant à poste fixe sur le plan incliné, qu'elles ne quittent pas. Elles portent des plateaux de balance articulés à des axes de suspension, de manière à pouvoir conserver leur horizontalité, ainsi que les wagonnets que l'on y charge transversalement. Ce système, trop compliqué, avait été introduit à Nachtigal par M. Westmeyer.

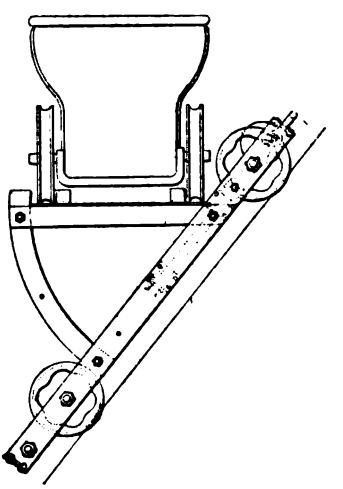


Fig. 461. — Chariot-porteur.

674 — Mais la véritable solution, simple et pratique, consiste dans l'emploi du *chariot-porteur* (fig. 461). On désigne sous ce nom un truc qui reste en permanence attelé au câble. Un plateau lui est assemblé sous un angle égal à l'inclinaison du plan. D'après les propriétés des angles alternes-

Digitized by Google

internes, cette plate-forme restera horizontale en se transportant parallèlement à elle-même. L'on pourra, par conséquent, y charger transversalement les wagonnets qui débouchent par chacune des costresses, en amenant en regard le chariot-porteur. Une fois installée sur le plateau, la berline descend par un mouvement de flanc, en conservant son aplomb. Au pied du plan, une fosse en forme de prisme triangulaire reçoit le porteur, de telle sorte que le plan supérieur de ce dernier se trouve au niveau des rails, sur lesquels on n'a plus dès lors qu'à engager le wagonnet.

On a construit des chariots-porteurs à plusieurs étages, pouvant loger deux, et même quatre wagonnets, en vue de réaliser une plus grande activité [1]. D'autres présentent assez de largeur pour recevoir sur la même plate-forme deux berlines côte à côte, lorsque les dimensions de la galerie le permettent ou que le système est installé au jour.

Dans le chariot-porteur Taza-Villain, la plate-forme est à charnière, de manière à pouvoir prendre, par rapport au châssis roulant, diverses inclinaisons. Cette modification a été introduite en vue des méthodes de grandes tailles, dans lesquelles (N° 503) le plan incliné doit être transporté de distance en distance, pour jouer le rôle de cross-gate, en recoupant toutes les costresses, et supprimant d'un seul coup l'entretien de leurs divers tronçons compris entre l'ancien et le nouvel emplacement. Comme les couches sont loin de présenter un pendage rigoureusement constant, il arriverait souvent que le chariot-porteur devrait être rebuté, si l'on ne possédait ainsi un moyen de régler l'orientation de sa plate-forme. Il reste à savoir cependant si un objet d'aussi peu de valeur mérite cette complication.

675 — *Attelage.* — L'attelage se fait à l'aide de crochets qui terminent le câble à chacune de ses extrémités, et dont la forme est plus ou moins contournée afin d'éviter qu'ils se détachent accidentellement. On en met quelquefois deux, en haut et en bas du véhicule, soit pour prévenir les effets d'un décrochement fortuit,

[1] Il en existe de sept paliers, aux abords extérieurs de la mine de la Machine (Decize).

Digitized by Google

soit pour s'opposer au renversement du wagonnet, si la pente est prononcée. On fait aussi usage de doubles crochets mobiles, dont les ouvriers chargés de la conduite du plan possèdent un assortiment.

L'attelage d'un train par son premier chariot présente peu de sécurité, car les attaches qui réunissent entre eux les divers véhicules sont exposées à se rompre; dès lors, chacun d'eux retrouvant sa liberté, l'on voit renaître toutes les conséquences que l'on avait voulu prévenir en l'enchaînant. On a employé, à cet effet, des crochets de sûreté, qui réunissent le câble aux divers wagonnets individuellement.

676 — *Parachute.* — En cas de rupture du câble, on a cherché à prévenir les conséquences de l'accident [1]. Je citerai à cet égard l'*arrête-convoi* Joniaux. Il consistait en un wagonnet spécial, à l'aide duquel le câble remorquait le train. L'attache avait lieu par l'intermédiaire d'un fort ressort, manœuvrant une ancre de marine. Lorsque le ressort était tendu par l'attelage, l'ancre se trouvait soulevée. Mais, en cas de rupture de câble ou d'attelage, le ressort reprenant vivement sa forme naturelle, l'ancre s'abattait et se piquait dans les traverses de la voie. Ce procédé, trop compliqué, ne s'est pas répandu.

On peut résoudre le problème très simplement, mais seulement à la vérité pour l'une des moitiés de la question. Il suffit de laisser traîner derrière le train montant une reculoire, ou *chambrière*, qui se pique immédiatement dans le sol, si, le câble venant à se rompre, ce train se dispose à redescendre. Malheureusement cette solution laisse sans secours le train descendant.

On trouve la même insuffisance, sans la même simplicité, dans l'emploi de clichages successifs, c'est-à-dire de loquets disposés suivant l'axe de la voie et pouvant basculer dans un plan vertical. Le train montant est muni d'une patte, qui les efface tous sans difficulté. En cas de rupture, celui d'entre eux qui vient d'être franchi

[1] Maurice Bellom, Appareils de sûreté des plans inclinés, *Annales*, 8e, XVIII, 355.— Rameau, Arrêt des bennes sur les plans inclinés, *CRM*, 1887, 97. — Mortier, *Ibidem*, 98. — Intorno al paracadute der piani inclinati, *Annuario della Societa dei Licenziati della reale scuola mineraria di Caltanissetta*, 1886, 55.

Digitized by Google

le dernier, recevrait immédiatement le train. Quand il s'agit de redescendre, on efface cette patte, et le wagon passe sans obstacle au-dessus de tous les clichages.

Ces procédés prennent plus de valeur lorsqu'on les applique aux tractions mécaniques, et non plus aux plans automoteurs. En effet, le train montant, qui est seul à en bénéficier, se trouve être dans ce cas le train chargé, à l'inverse de ce qui a lieu sur les plans automoteurs. Il est donc alors celui des deux qui présente, pour son câble, le plus de chances de ruptures, ainsi que les suites les plus graves pour un accident.

677 — *Manœuvres.* — Il y a lieu de distinguer, au point de vue des manœuvres, l'envoyage supérieur, la recette d'à-bas, et les diverses plates-formes des sous-étages intermédiaires.

A la recette supérieure, le plan doit rester constamment barré par une chaîne ou une barrière, afin d'éviter qu'un wagon puisse être par inadvertance précipité sur la pente. Cet obstacle n'est enlevé que pour l'embarquement du chariot, préalablement accroché au câble. Il est remis en place immédiatement après. L'exploitant doit tenir la main strictement à l'exécution de cette manœuvre, quelque fastidieuse qu'elle puisse paraître à l'ouvrier chargé de l'appliquer.

Il existe également des barrières plus perfectionnées ([1]). On a employé, dans ce but, un double clichage. Deux taquets font saillie au-dessus de la voie, à quatre mètres l'un de l'autre. Ils sont montés sur des charnières horizontales, et enclenchés entre eux de manière que la rotation de l'un commande celle de l'autre. Un levier, placé à la disposition de l'enchaîneur, sert à les actionner ensemble. Les taquets sont orientés à 90 degrés l'un de l'autre, de telle sorte que, si le premier est effacé sous le plan de la voie, le second fait saillie au dehors, et réciproquement. Dans l'état de repos, le taquet supérieur est redressé, et empêche tout véhicule

([1]) Plumier, Note sur les barrières Dinoire et Bail-Tellier (*CRM*, 1887, 81. — *Rev. univ. d. m.*, 1886, II, 139). — André Dumont, Une excursion dans le Nord et le Pas-de-Calais, *Mémoires de l'Union des ingénieurs de Louvain*, 1887. — Demeure, Note sur la barrière Degueldre pour la fermeture des plans inclinés, *Rev. univ. d. m.*, 2e, II, 399. — Larmoyeux, *Ibidem*, 2e, XX, 395.

Digitized by Google

engagé par mégarde de descendre sur le plan. Lorsque le moulineur veut envoyer le chariot, il efface ce taquet, en redressant par cela même le second ; puis, pendant le temps que le wagon met à parcourir lentement la distance qui les sépare, il renverse son levier de manière à effacer ce dernier cran, pour livrer le passage. Si, au contraire, il lui arrive de lâcher le premier par une fausse manœuvre qui lance prématurément un wagon sur la voie, il lui suffit de ne pas perdre la tête, et de maintenir ferme son levier. Par cela seul que le premier taquet a été effacé, le second fait saillie, et le chariot se trouve arrêté après ce court intervalle, avant d'avoir acquis une force vive importante.

Les galeries latérales aboutissant à la recette supérieure sont également munies de barrières qui peuvent être solidarisées avec celle du plan, de manière à n'être ouvertes que lorsque cette dernière est fermée.

678 — A la recette inférieure, se tient un receveur qui détache les wagons pleins et attelle les wagons vides. Sa fonction est donc plus passive, tandis que l'enchaîneur d'en haut garde le rôle actif, engageant les wagons et dirigeant leur mouvement avec le frein. Néanmoins, celui-ci se conforme aux signaux du receveur d'à-bas, et n'effectue un départ qu'après avoir acquis la certitude que ce dernier est prêt à recevoir le train, et s'est mis lui-même à l'abri en dehors de la recette.

Ces signaux se donnent la plupart du temps à la voix. On emploie aussi un petit câble, destiné à tirer une cloche ou à tourner un disque d'arrêt. On se sert également de tringles métalliques, qui conduisent très nettement le son quand on les frappe à l'une des extrémités. Le nombre des coups, ordinairement gradué de un à quatre, est convenu à l'avance pour transmettre les divers commandements élémentaires.

En cas de dérangement qui laisse un convoi en détresse, ce n'est jamais le receveur qui doit monter dans le plan pour le dégager. Le moulineur d'en haut descend, n'ayant pas à redouter au même degré pour sa propre sécurité la remise en train.

La chute d'un wagon sur le plan, avant qu'il soit convenablement

Digitized by Google

enchaîné, risque de blesser des ouvriers ou de couper en deux un train, passant au même moment dans la voie de fond. Il est donc nécessaire que des chariots échappés sur la pente ne puissent atteindre d'autres voies de circulation. On a par exemple la ressource d'établir le pied du plan dans une dérivation latérale de la galerie (fig. 462). Cette recette se trouve à la vérité désorganisée par l'accident, ce qui est inévitable, mais on épargne ainsi de plus grands malheurs.

On a également employé un dispositif qui consiste à infléchir en courbe le pied du plan incliné, de manière à le raccorder avec la

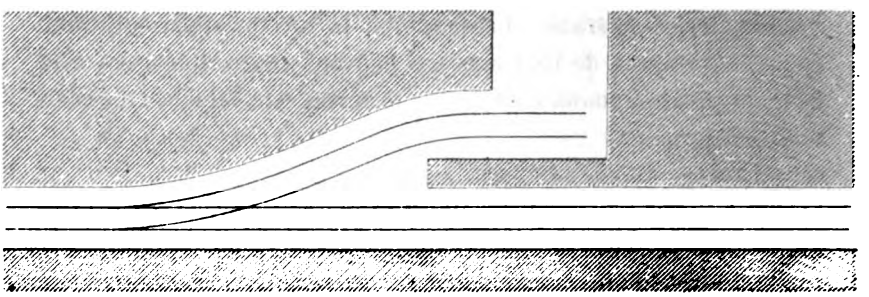


Fig. 462. — Pied d'un plan incliné.

voie de fond. Si un wagon est précipité sur la pente, sa force vive l'entraîne dans un cul-de-sac situé en prolongement rectiligne, et lui fait abandonner les rails. Il y rencontre des tampons de choc, et le receveur se trouve préservé dans le congé de raccordement.

679 — Quant aux recettes intermédiaires, elles se composent souvent d'une simple plate-forme, pour la facilité des opérations. Le câble se soulève légèrement sur ses rouleaux, par la tension de la charge, en franchissant ces brisures du profil en long. Les receveurs de ces envoyages s'effacent dans les costresses, pour les manœuvres des autres sous-étages. Ils barrent le passage par une chaîne, et veillent à ce que personne ne s'engage sur la plate-forme. Parfois on suspend au plafond de ces galeries latérales, à quelque distance du plan, un bout de chaîne verticale, que le herscheur rencontre nécessairement s'il arrive avec inattention.

Digitized by Google

Dans certains cas, on emploie, pour ces raccordements, divers artifices spéciaux. On dispose quelquefois des couloirs latéraux [1]

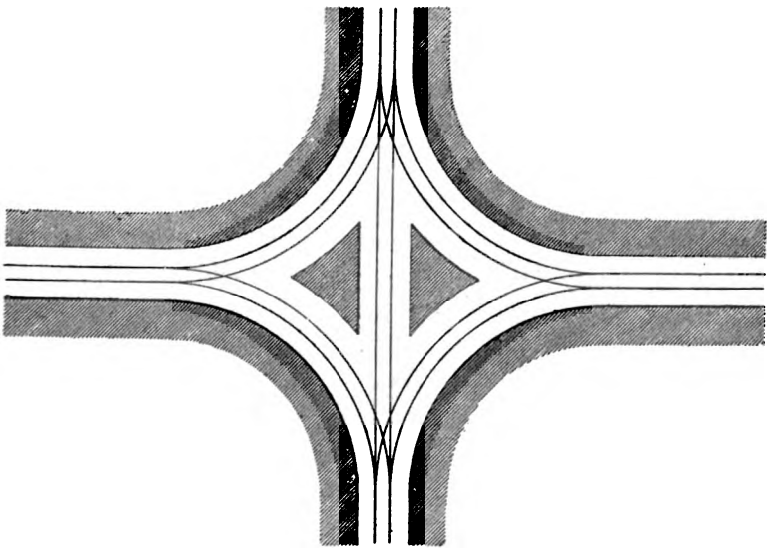


Fig. 463. — Raccordement d'un plan incliné et d'un chassage.

(fig. 463) en vue de recevoir, ou d'embarquer plus facilement les wagonnets.

La figure 464, qui ne représente que les rails, en sous-entendant les parois, montre la simplification que l'on peut apporter à ces petites gares, lorsque le matériel est assez léger pour permettre de le tourner sur des plaques, en le dirigeant à la main d'une voie sur l'autre.

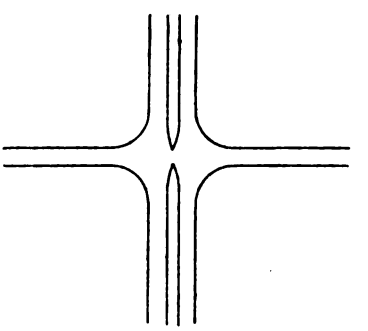


Fig. 464. — Raccordement d'un plan incliné et d'un chassage.

On entaille également la sole inclinée [2], de manière à conserver la continuité des costresses (fig. 465). Le service d'embarque-

[1] La Grand'Combe.
[2] Ronchamp.

Digitized by Google

ment à ce niveau se fait alors sans aucune difficulté. Des rails mobiles servent d'autre part à rétablir l'unité du plan, pour la desserte de l'amont-pendage (1).

On a encore disposé, dans certaines tractions mécaniques en remonte (2), des plaques à charnière, qui reprennent l'horizontale quand il s'agit de recevoir les chariots de la costresse et de les expédier au jour; elles se couchent, au contraire, sur le plan pour le service de l'aval-pendage.

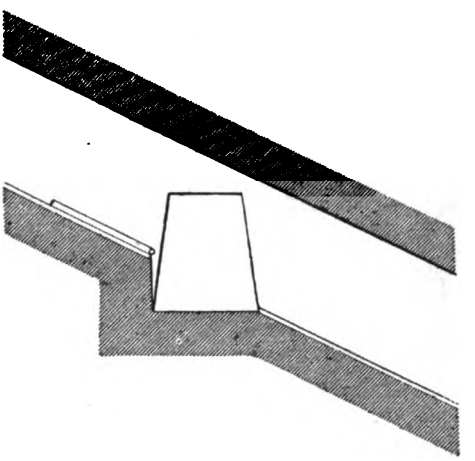


Fig. 465. — Raccordement d'un plan incliné et d'un chassage.

Si le système est à chariot-porteur, et que ce véhicule se trouve sur une voie, tandis qu'il s'agit d'y embarquer un wagonnet venant de la costresse opposée, on jette un pont entre les deux au moyen de rails mobiles, que l'on installe en travers de manière à rétablir la continuité.

Pour raccorder avec un plan incliné une galerie de niveau située dans son plan projetant vertical, on dispose deux volets sur des charnières latérales, parallèles à l'axe de la galerie. Relevés contre les parois de l'ouvrage, ces volets laissent le passage libre. Si on les rabat horizontalement, ils constituent une plate-forme de service, pour établir une communication entre la galerie et l'amont-pendage du plan (3).

680 — On trouve quelquefois utile, aux abords des grands plans inclinés de la surface (4), de former, aux deux recettes

(1) Rindant, Plancher mobile pour plan incliné, *Rev. univ. d. m.*, 1888, I, 79.
(2) Mondalazac.
(3) Firmy, La Voulte.
(4) Carmaux.

Digitized by Google

extrêmes, les trains pleins et les trains vides sur des voies déterminées et toujours les mêmes, au lieu d'alterner à cet égard, comme dans le service ordinaire. On simplifie ainsi la circulation des véhicules entre ces têtes de ligne et la mine, ou le point de déchargement.

Dans de telles conditions, la traction se fait alternativement *à brins croisés* et *à brins parallèles*. Si, en effet, nous supposons d'abord la disposition normale des plans ordinaires, c'est-à-dire les brins disposés chacun suivant l'axe de l'une des voies, celui qui vient de monter (avec des wagons vides), a maintenant à redescendre (avec des wagons pleins). Il doit donc changer de voie, d'après ce que l'on demande. De même, le brin qui est parvenu au pied du plan (en descendant des chariots pleins), n'a plus qu'à remonter (en remorquant des chariots vides). Il faut donc également qu'il prenne l'autre voie. Dès lors, dans cette seconde manœuvre, les brins, partant toujours (à très peu près) du même point de contact avec le treuil supérieur, échangent les situations de leurs extrémités libres. C'est ce qu'on appelle la position croisée. A la manœuvre suivante, ils reprendront leur parallélisme.

Pour diminuer les obliquités qui résultent de cette transposition, au lieu d'installer l'axe de rotation exactement à la tête du plan incliné, on le reporte à une certaine distance sur le palier qui fait suite à celui-ci. Dans le sens vertical, les deux brins ne se gêneront pas, car l'un passe sur le tambour horizontal d'enroulement, tandis que l'autre arrive à son contact par-dessous, afin qu'une même vitesse angulaire les anime de mouvements contraires. On a soin également de disposer, à la tête et au pied, de faibles pentes et contre-pentes, pour aider les receveurs à former et à décomposer les trains, en facilitant l'engagement et le dégagement des véhicules.

681 — *Données numériques.* — La longueur des plans inclinés de la surface (N° 657, note 2) peut s'étendre bien au delà des limites qu'il est prudent de s'imposer dans les travaux souterrains. Quelques-uns dépassent 800 mètres. Il convient au contraire de ne pas excéder 100 mètres à l'intérieur, et même de se tenir au-

Digitized by Google

dessous de cette limite. Sans cela, les accidents prennent trop de gravité, et l'extensibilité des câbles, qui est proportionnelle à leur longueur, devient excessive.

Si l'étage que le plan doit desservir présente une relevée supérieure à ce degré de longueur, on la fractionne en plusieurs segments. On applique également ce dispositif à des plans de longueur modérée. Il en résulte un grand avantage pour le service des divers sous-étages, qui se trouve par là simplifié; mais on augmente ainsi les dépenses d'installation et de main-d'œuvre. On a soin de ne pas mettre ces travées en prolongement direct l'une de l'autre, et de les rejeter sur le côté, à une courte dis-

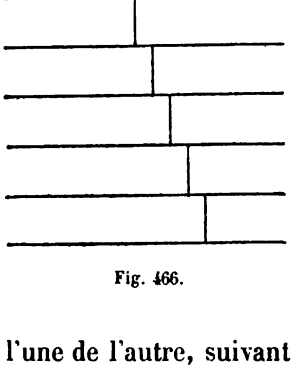


Fig. 466.

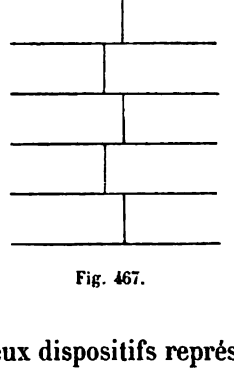


Fig. 467.

tance l'une de l'autre, suivant l'un des deux dispositifs représentés par les figures 466 et 467.

Dans les conditions ordinaires, la pente minima nécessaire pour vaincre les résistances passives, et assurer le fonctionnement d'un plan automoteur, est de 7 degrés environ. L'inclinaison se redresse parfois jusqu'à 80 degrés. C'est dans ces cas extrêmes que l'on peut se mettre en demi-pente (N° 657).

La vitesse doit rester modérée, de peur des accidents. On se tient en général entre 2 et 4 mètres. Sur les grands plans de surface munis de régulateurs, l'allure atteint 5 mètres par seconde, tandis que l'emploi des freins à main y donnait lieu à des irrégularités, qui portaient par moments la vitesse à 6 ou 7 mètres.

Digitized by Google

§ 5

PLAN BISAUTOMOTEUR

682 — On désigne sous le nom de *plan bisautomoteur* (1) un appareil dans lequel la descente du combustible est employée, non seulement à vaincre les résistances passives des poids morts descendant ou montant entre la tête et le pied du plan parcouru par ce charbon, mais en outre à remonter le matériel vide le long d'une relevée supplémentaire, jusqu'à un niveau supérieur à la tête de la travée de descente (fig. 468, 469). Nous avons vu plus haut (N° 476) l'utilité qui s'attache à ce relevage, au point de vue du service du remblai.

En principe, on doit voir dans cette combinaison l'application à un effet utile, de l'excédent de travail que le frein était jusqu'ici chargé d'user en pure perte. Ce moteur, extrêmement ingénieux (2), peut être assimilé aux *chutes d'eau*, qui fournissent sans aucune dépense une source de puissance illimitée ; l'insolation se chargeant incessamment de remonter l'eau qui est parvenue au niveau de la mer, jusqu'au sein des nuages, d'où la pluie et le régime hydrologique la ramènent perpétuellement au bief de l'usine. Dans le cas actuel, on se trouve en présence d'une *chute de charbon*, qui, sans être absolument indéfinie, puisqu'elle restera nécessairement limitée au cube du gisement exploitable, comporte néanmoins une durée très prolongée, et fournira dans tous les cas la puissance motrice en quantités exactement proportionnelles à l'office qu'on attend d'elle, puisqu'on ne lui demande que de remonter les véhicules affectés au transport du combustible moteur (3).

(1) Les plans bisautomoteurs se voient à la Grand'Combe, dont ils constituent l'une des particularités les plus intéressantes. Les mines de Portes en ont possédé autrefois. M. Schmied en a également établi à Seegraben (*Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 219), mais sur une échelle beaucoup moindre. On en a aussi introduit à l'intérieur des mines de Carmaux.

(2) Dû à Bourdaloue.

(3) Nous rencontrerons un second exemple de ce principe dans la chaîne flottante d'équilibre (N° 706) où le travail de la gravité pendant la descente d'une partie de com-

Digitized by Google

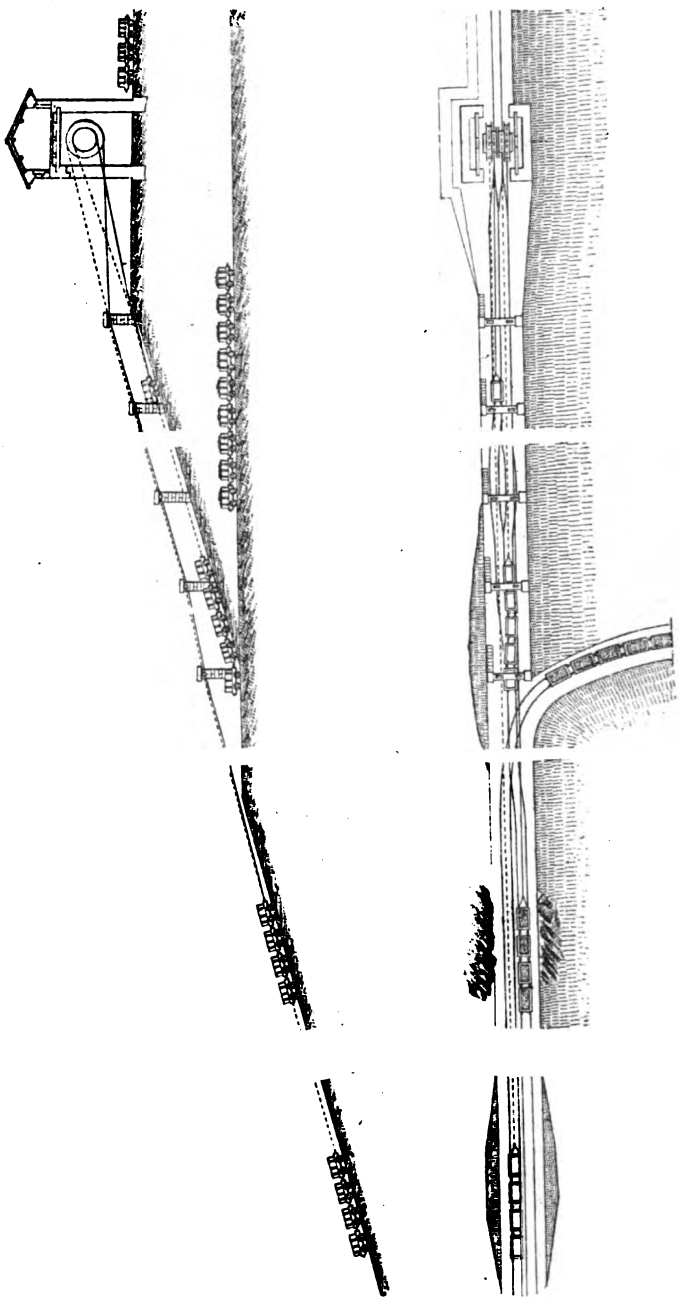


Fig. 468 et 469. — Plan incliné bisautomoteur (élévation et plan).

Digitized by Google

683 — A la recette intermédiaire, que je désignerai par A, et qui constitue la tête du plan AB, on forme un train de n wagons pleins [1], et au pied B de ce plan un train de n wagons vides. Ils sont, l'un et l'autre, attachés aux extrémités d'un câble qui passe sur une poulie tournant autour d'un arbre horizontal, établi, non pas en A, comme dans les plans automoteurs habituels, mais en C, au sommet de la travée supplémentaire AC le long de laquelle il s'agit d'élever le matériel vide. La longueur de ce câble est donc $CA + CB$, ou sous une autre forme, $AB + 2AC$; tandis qu'elle serait simplement AB avec un plan ordinaire.

En second lieu, on prépare en A un train de $n + 1$ chariots vides, attelés à l'extrémité d'un second câble de longueur AC, embrassant en C une poulie calée sur le même arbre que la première, et supportant à son autre extrémité un wagon unique, destiné à lui communiquer de la tension. Ce second câble se trouve, comme dans les conditions ordinaires, couché sur le sol, où il est supporté par des rouleaux, tandis que le précédent passe sur d'autres rouleaux installés à une certaine hauteur au-dessus de terre, à l'aide de piliers de maçonnerie. Les deux poulies présentent des rayons rigoureusement proportionnels aux longueurs des travées AB et AC, de telle sorte que les deux extrémités de l'un et l'autre câble pourront, à chaque manœuvre, se mouvoir en deux sens opposés sur chacun de ces deux plans respectifs.

684 — Si l'on engage sur la pente AB les n wagons pleins situés en A, ils exercent sur le câble ACB une traction capable de remonter de B en A les n wagons vides qui se trouvent en B, et pour la même manœuvre, n autres wagons vides de A en C (ce qui forme par la pensée l'équivalent de l'ascension directe, en une seule fois, de n wagons vides de B en C). Quant au $(n + 1)^e$ wagon du train vide que l'on a formé en A, il se trouve équilibré par le chariot unique attelé au câble en C, et nous pouvons par

bustible sert à en faire remonter une autre portion sur une rampe. On en peut rapprocher également l'équilibre établi à Commentry entre la descente du remblai et l'extraction du charbon (N° 475).

[1] A la Grand'Combe, on prend $n = 4$.

Digitized by Google

suite faire abstraction de tous les deux. On voit donc en définitive que le déplacement des $3n + 2$ véhicules qui participent ensemble à la manœuvre, se résume utilement par la descente sur AB de n wagonnets pleins, et la montée le long de BC de n wagonnets vides.

La répartition du travail, dans ces conditions, étant visiblement indépendante de n, il nous suffit de la définir pour un seul véhicule dans chaque sens. On voit ainsi que théoriquement les deux poids morts s'équilibrent le long de AB, et que le poids utile, en descendant cette travée AB, doit commander, pour le poids mort, l'ascension supplémentaire suivant AC. Comme d'ailleurs ces longueurs inclinées sont proportionnelles à leurs projections verticales, qui figurent dans l'expression du travail de la pesanteur, nous pouvons dire en résumé que, pour obtenir l'égalité des deux travaux moteur et résistant, le poids utile et le poids mort doivent être en raison inverse des distances de la gare intermédiaire au pied et à la tête du plan total; ou plus exactement que la distance à la tête du plan, déterminée par cette relation, constitue la valeur extrême qu'il est loisible de donner à cette dimension de l'appareil. Au delà, celui-ci deviendrait impuissant à effectuer l'ascension. Au-dessous, il laissera disponible un excédent de travail que l'on devra user au frein comme à l'ordinaire.

Il est inutile de faire remarquer que nous avons, pour simplifier ces explications, fait abstraction des résistances passives. Elles auront pour effet d'abaisser la limite en question dans une mesure notable, dont il serait aisé de tenir compte pour les calculs relatifs à l'établissement d'un projet effectif.

Digitized by Google

CHAPITRE XXVIII

TRACTION MÉCANIQUE

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS

685 — *Traction en palier.* — On appelle *traction mécanique* [1] l'ensemble de l'appareil qui sert, à l'aide de machines fixes, soit à remorquer les trains en palier, au lieu de les faire accompagner par des moteurs ambulants, soit surtout à leur faire gravir des

[1] Du transport mécanique de la houille (*Rapport fait à l'Institut des ingénieurs des mines du Nord de l'Angleterre*, traduit par Briart et Weiler, 225 pages in-8° et 52 planches, Mons, 1871). — A. Évrard, *Les moyens de transport*, in-4°. — *Bull. min.*, 2e, I, 239, Pernolet; IV, 429, Georges Vuillemin, Note sur la traction mécanique par corde-queue, installée aux mines d'Aniche; V, 306, Pernolet; IX, 129, Holtzer; XII, 165, Brüll, Chemin de fer à chaîne flottante des mines d'Aïn-Sedma. — *CRM*, 1880, 106, Chansselle, Chaîne flottante de Sain-Bel. — *Rev. univ. d. m.*, 1re, XXXIII, 190, Beer; 2e, III, 200, Habets. — *Journal de Leoben*, XXII, 311, Traction mécanique aux mines d'Eisenerz. — *Engineering*, 1875, 60, 432, Micheroux, Traction mécanique du Hasard. — *Bulletin de l'Association scientifique*, 1879, 154, Tresca. — *Notice sur les objets exposés par la Société des charbonnages de Mariemont à Vienne*, Mons, 1873, 6. — Brüll, Tractions mécaniques de Somorostro (*Mémoires des ingénieurs civils*, 2 novembre 1883, 502. — *Génie civil*, IV, 47). — Brüll, Mémoire sur la chaîne flottante des mines de Dicido (*Ingénieurs civils*, novembre 1883, 516. — *CRM*, février 1884, 17). — Bollaert, Traînage mécanique de Sainte-Catherine à Bascoup, *Association amicale des Élèves de l'École supérieure des mines de Paris*, 1885. 35. — Suisse, Traînage mécanique du puits Jules Chagot, *Bull. min.*, 3e, I, 455. — Bounotte, Traînage mécanique au moyen de treuils de mine, *CRM*, 1889, 126. — Marchena, Traction mécanique des tramways, *Ingénieurs civils*, juillet 1894, 58. — Traction funiculaire, *Génie civil*, III, 506; IV, 5. — Xavier Martin, Traînage mécanique du puits du Magny, *CRM*, 1888, 58. — Plan incliné de Pittsburg, *Génie civil*, VI, 177. — Frank Roberts, Wire rope haulage and its application to mining, *Trans. americ. min.*, XVI, 230, 239, 241, 246.

Digitized by Google

rampes. Il y a lieu de distinguer dans cette description : d'un côté, le mécanisme qui sert à effectuer l'opération elle-même, et d'autre part la force motrice destinée à lui imprimer le mouvement. La première question nous occupera seule dans ce chapitre, et nous réserverons la seconde pour le chapitre XXX.

En ce qui concerne la traction en palier, la tendance, tous les jours plus marquée, à la concentration de l'activité sur des points qui deviennent des foyers de production intense, avec des puits moins nombreux qu'autrefois, mais armés de machines plus puissantes, réclame impérieusement le secours de ce moyen de transport.

Il procure en outre une réelle économie, à la condition d'opérer sur de grandes masses et des distances importantes ; réserve dont on ne s'est pas toujours assez souvenu, et dont l'oubli a occasionné quelques mécomptes.

Il assure plus de régularité, en même temps qu'il permet de donner, en cas de nécessité, un coup de collier pour rétablir le service, après un de ces arrêts du trait dans le puits d'extraction, qui se répercutent dans toute la mine avec le herschage ordinaire, en exigeant une durée assez longue pour remettre en mouvement les trains immobilisés dans toutes les gares.

Ajoutons encore que, si une grande concentration doit s'effectuer au jour sur certains points, la nature accidentée de la superficie peut rendre quelquefois plus avantageux de pratiquer souterrainement des artères rectilignes, activement desservies par des tractions mécaniques.

686 — *Exploitation en vallée.* — Quant aux *exploitations en vallée* qui nécessitent le remorquage des produits sur des rampes, contrairement au principe ordinaire d'après lequel le roulage fonctionne, autant que possible, en descendant jusqu'au puits d'extraction, elles constituent en théorie une solution défectueuse. Cependant ce dispositif peut, dans certains cas, se trouver parfaitement justifié par diverses circonstances, parmi lesquelles nous citerons les suivantes.

La marche descendante est motivée par la présence du grisou,

Digitized by Google

qui doit faire éviter des travaux en cloche, si l'on ne peut pas en vider le sommet par une circulation ascensionnelle.

Il en sera de même pour les gîtes qui plongent sous l'océan, et avec lesquels il ne saurait être question de rejoindre le pied de l'aval-pendage par une fosse dont l'emplacement tomberait en pleine mer, ni par un travers-bancs partant d'un puits foncé sur le rivage; le développement de cette galerie devenant souvent excessif en raison de la faiblesse du pendage.

Les couches peu inclinées sont extrêmement fréquentes en Angleterre, et le motif précédent conduit à préférer aux interminables travers-bancs, qui devraient relier l'aval-pendage à des accrochages trop rapprochés les uns des autres, une traction en rampe, qui remonte les produits au point d'intersection du gisement par le puits d'extraction.

On exploite fréquemment aussi en descenderie les parties qui, situées à l'aval-pendage d'un étage, sont limitées par un rejet important avant d'atteindre le niveau de l'étage inférieur, et qu'il serait par suite coûteux de rejoindre par ce dernier.

Dans certaines mines exposées à des invasions d'eau subites au moment des crues, on trouve commode[1] de créer, au moyen d'exploitations en vallée, de grands réservoirs que l'on abandonne alors temporairement, et qui dégagent le reste des travaux de l'affluence des eaux.

Il peut devenir impossible, en raison de l'existence de couches très aquifères A dans le mur d'un gisement B (fig. 470), d'approfondir le puits C au-dessous du point M où il rencontre la couche, en vue d'établir plus bas une recette et un travers-bancs rejoignant le gîte en N, pour desservir toute la zone MN. La double traversée de la couche aquifère par le puits et la galerie risquerait, dans de telles conditions, d'occasionner des dépenses, et même des dangers, qui feront préférer l'établissement de moyens mécaniques destinés à remonter les produits le long de NM.

Dans certains dénoyages de couches très inflammables, on ne baisse les eaux qu'à la demande du développement des travaux, et

[1] Comme à Gréasque (Bouches-du-Rhône).

Digitized by Google

par conséquent d'une manière successive ; ce qui exclut l'hypothèse du roulage descendant jusqu'à une voie de fond, laquelle ne deviendra accessible qu'au dernier moment.

Quelquefois enfin l'on se mettra en vallée uniquement pour gagner du temps, en présence de certaines conditions commerciales, de manière à pouvoir commencer de suite l'exploitation,

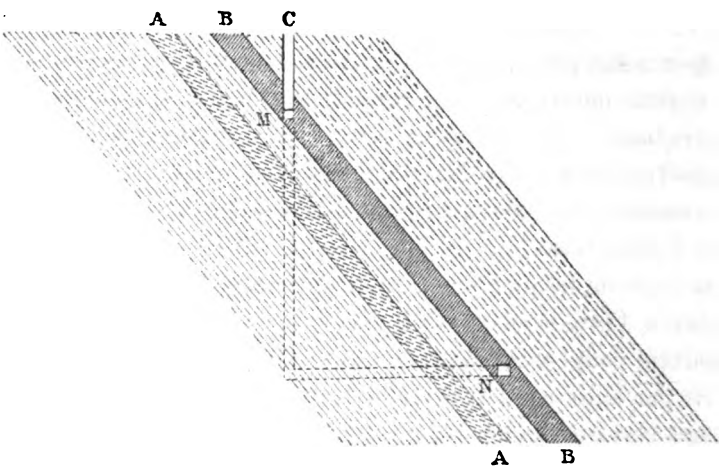


Fig. 470.

sans attendre la terminaison du réavalement d'un puits, suivi du percement d'un travers-bancs.

En dehors même de ces circonstances spéciales, certains ingénieurs tendent à exploiter normalement en descenderie une partie de l'aval-pendage de chaque niveau, lorsque la mine est outillée pour une distribution économique de la force par l'air comprimé ou l'électricité. On augmente ainsi, à la vérité, les dépenses courantes des transports souterrains ; mais ce système permet en revanche d'espacer davantage les étages de l'exploitation, et de réduire les dépenses parfois considérables qu'entraine leur installation.

Digitized by Google

§ 2

SYSTÈME CORDE-TÊTE ET CORDE-QUEUE

687 — *Câble-tête et câble-queue.* — Les divers modes usités pour la traction mécanique peuvent se rattacher à quatre types distincts : 1° le *système corde-tête et corde-queue*, 2° la *chaîne sans fin*, 3° la *chaîne traînante*, 4° la *chaîne flottante*.

Le premier (tail-rope system) emploie en palier deux câbles distincts, qui sont attachés respectivement en tête et en queue du train. Suivant que l'on agira sur l'un ou sur l'autre, on détermi-

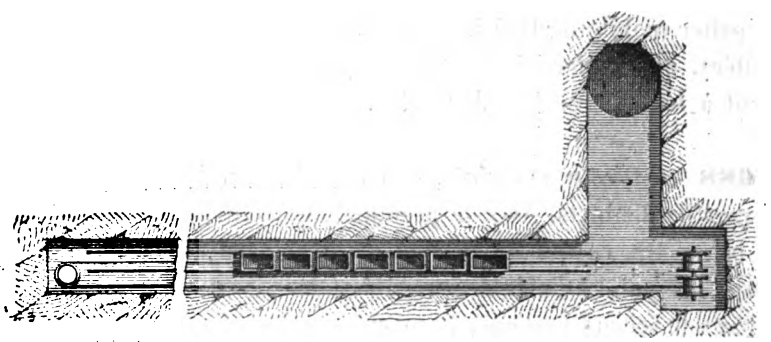


Fig. 471. — Système corde-tête et corde-queue.

nera le mouvement vers le puits, ou en sens contraire (fig. 471). Dans le premier cas, le train est tiré par le *câble-tête*, et il traîne derrière lui le *câble-queue*. Lorsqu'il doit au contraire s'éloigner du puits, il obéit au câble-queue, et entraîne son câble-tête. La longueur de ce dernier sera donc égale à la distance qui sépare le puits de l'extrémité du trajet, pour permettre au train de s'éloigner jusque-là. Celle du câble-queue devra être double, afin que, partant de la machine, il aille passer sur la *poulie de retour* placée au point extrême, et vienne rejoindre le train, en permettant à ce dernier d'arriver jusqu'au puits. Le brin *direct* du câble-queue passe à terre sur les mêmes rouleaux que le câble-tête. Le *brin de*

Digitized by Google

retour, après avoir atteint la poulie de retour, est supporté par d'autres rouleaux qui peuvent être fixés au plafond de la galerie.

La machine présente deux tambours distincts appelés *tambour-tête* et *tambour-queue*, sur lesquels s'enroulent les câbles correspondants. Chacun de ces organes est, à volonté, actionné par un pignon moteur, ou ralenti par un frein, selon que le mécanicien engage l'un ou l'autre. Il y aura toujours, à chaque instant, l'un des deux tambours commandé par son engrenage, tandis que sur l'autre on applique légèrement le frein, pour communiquer de la tension à son câble. Les rôles s'intervertissent ensuite, lorsqu'il s'agit de renverser le fonctionnement des câbles. A cet effet, un embrayage met alternativement chacun des deux pignons en rapport avec une roue motrice, qui tourne toujours en même sens. Cet appareil de changement de marche consiste ordinairement en un palier mobile destiné à rapprocher le pignon d'une des roues dentées, de manière à les faire engrener ensemble, ou inversement à les séparer l'un de l'autre.

688 — *Recette d'arrivée.* — L'arrivée au puits comporte deux dispositifs distincts. Avec le premier, on établit le moteur au delà de la recette, ce qui lui permet de tirer sans difficulté le train jusqu'à ce point à l'aide de son câble-tête.

Dans le second système, la machine se trouve placée en deçà du puits. On dispose alors, à une petite distance, un butoir qui déclenche l'attelage, au moment où il est heurté par le train, lequel abandonne ainsi son câble-tête. Celui-ci s'arrête ensuite en même temps que la machine, dont le mécanicien amortit immédiatement le mouvement. Quant aux chariots, ils continuent par la vitesse acquise, aidée d'une légère pente que l'on a soin de ménager vers le puits. On procède aussitôt à la décomposition du train. Les wagons pleins sont élevés dans les cages. On réunit d'autre part les chariots vides qui reviennent de la surface, et l'on en reforme une nouvelle rame. Ce convoi est attaché au câble-queue, qui a été traîné jusqu'à la recette. Le mécanicien, mettant son moteur à la marche en arrière, tire doucement le train jusqu'à la chambre de la machine, où se trouve le câble-tête qu'on lui rattelle. Puis il

Digitized by Google

engage la vapeur à fond, et le convoi part, tiré par le câble-queue en déroulant derrière lui son câble-tête.

689 — *Recette de départ.* — A l'extrémité opposée, on peut employer des dispositifs assez variés. La figure 472 représente l'un des plus simples. Le train vide arrive à grande vitesse sur la voie A, remorqué par le câble-queue. Guidé par des signaux analogues à ceux que nous décrirons plus tard pour l'extraction verticale, le mécanicien amortit le mouvement afin de se rendre maître de son train, et il l'arrête doucement sur le garage BC. Les receveurs détachent le câble-tête et le câble-queue, dont les extrémités restent en B et C. A l'aide d'une légère pente, on fait couler le convoi de BC

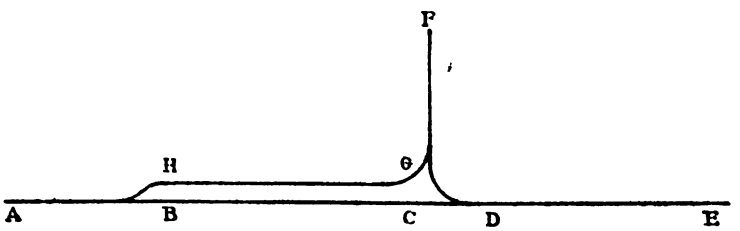


Fig. 472

en DE. On l'y décompose; après quoi les herscheurs emmènent, par la galerie F, les wagons vides jusque dans les tailles. Pendant ce temps, on s'occupe de conduire au puits le train chargé qui a été formé, pendant le voyage précédent, sur le garage GH, avec les chariots pleins amenés successivement des tailles par les mêmes rouleurs. Il suffit, à cet effet, de déplacer de B en H et de C en G les extrémités des deux câbles, et de les atteler au nouveau convoi. Le signal étant donné au mécanicien, celui-ci ramène en grande vitesse, à l'aide du câble-tête, le train qui remorque derrière lui le câble-queue.

690 — *Embranchements.* — Le système du *tail-rope* se prête à l'établissement des embranchements.

Nous distinguerons par la pensée, au point multiple, le tronc commun M qui vient du puits (soit directement, soit par l'inter-

Digitized by Google

médiaire d'autres bifurcations, ce qui est indifférent), et les deux branches que j'appellerai P et Q. Sur le tronc M se trouve actuellement un câble-tête *m*. Dans chacune des deux branches, P ou Q, règne un câble-queue *p* ou *q*, avec ses deux brins, direct et de retour. L'un de ces câbles, *p* par exemple, est adhérent au train; *q* s'en trouve momentanément détaché. Si l'on suppose les wagons vides, cet état de choses indique que le convoi était parti en charge, de l'extrémité de la travée P. Il a été mené au puits par le câble-tête *m*, en attirant *p* derrière lui. Puis il est revenu à vide, actionné par *p*, et traînant *m* à la remorque. En cet instant, il s'agit, au lieu de continuer le mouvement qui le ramènerait au même point de départ, d'engager ce train sur la voie Q. Le mécanicien ayant arrêté le convoi à l'embranchement, les receveurs détachent du premier wagon le brin direct du câble-queue *p*, et en même temps ils dévissent, pour les séparer l'un de l'autre, les deux parties de son brin de retour, dont l'emmanchement se trouve précisément en ce point, puisque toutes les dimensions sont rigoureusement déterminées. Ces agents rattachent au tronçon du brin de retour qui se trouve sur le tronc commun M, le brin de retour du câble-queue *q*, et attellent au train le brin direct de ce dernier câble. On donne alors le signal au mécanicien, après avoir fait l'aiguille, et le train s'engage sur la voie Q, qu'il parcourt jusqu'à son extrémité.

On peut éviter cette perte de temps, en exécutant les manœuvres de l'embranchement tandis que le convoi se trouve au puits, de manière à utiliser, dans ce but, la durée employée aux opérations de la recette. La manœuvre reste d'ailleurs la même, les tronçons du câble seuls diffèrent; c'est-à-dire que l'on dévisse les assemblages, de manière à couper chacun des brins (direct et de retour) du câble-queue en détachant les tronçons de ces brins qui se trouvent dans le tronc commun M, de ceux qui règnent sur le trajet P, et les rattachant à ceux qui sont dans la travée Q.

Afin d'éviter tout déplacement des câbles, puisque les ajustages exigent une rigueur absolue, on a soin, avant de désassembler les segments, de les pincer des deux côtés de l'assemblage dans des étaux disposés à cet effet. En outre, pour prévoir le cas où un tel déplacement viendrait à prendre naissance malgré ces précautions,

Digitized by Google

les receveurs ont à leur disposition un treuil, avec lequel ils peuvent agir de force sur le câble qui s'est éloigné, et le remettre au point.

691 — *Courbes.* — Le système du tail-rope se prête également aux courbes.

On dispose alors (fig. 473) des contre-rails pour empêcher le déraillement, et en outre des rouleaux rapprochés, sur lesquels passent le câble-tête et le brin direct du câble-queue, ainsi qu'une tôle destinée à faciliter l'arrivée du câble dans la gorge du rouleau, au passage du train. Quant au brin de retour du câble-queue,

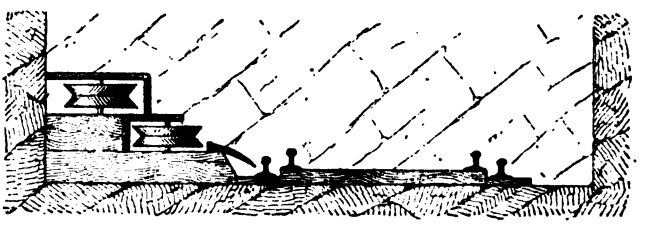


Fig. 473. — Voie du tail-rope dans les courbes.

rien n'oblige à le plier en courbe comme les précédents qui, étant directement attachés au train, doivent passer partout où passe celui-ci. On peut donc laisser ce brin de retour disposé en ligne brisée suivant les deux tangentes extrêmes du tracé curviligne, à l'aide de boyaux pratiqués dans la roche pour lui livrer passage, et d'une poulie de renvoi placée à leur intersection.

692 — *Variantes.* — Le tail-rope, tel que nous venons de le décrire, est à simple effet. La galerie ne présente alors qu'une seule voie, qui est parcourue alternativement, dans les deux sens, par un seul train.

On a construit des systèmes corde-queue à double effet. Il existe en ce cas deux voies, et tout devient absolument symétrique. On dispose un câble-tête pour chacun des deux trains, mais un seul câble-queue, dont les deux brins se réunissent en embrassant la poulie de retour placée à l'extrémité. Le moteur tirant sur le pre-

Digitized by Google

mier câble-tête, le brin du câble-queue adhérent à ce convoi le suit dans son mouvement, et traîne le second train, qui remorque lui-même son câble-tête. Puis les rôles s'intervertissent pour la manœuvre suivante.

On obtient par là une activité double, mais les galeries sont plus larges et le service devient plus compliqué.

693 — Le tail-rope doué de tous les organes précédents convient à la traction en palier. Sur les rampes d'une déclivité suffisante, le câble-queue devient inutile, la pesanteur intervenant alors pour ramener le train en arrière.

Si l'on veut alors réaliser une très grande activité, l'on dispose plusieurs voies côte à côte, et sur chacune d'elles une rame, avec un câble-tête. Chacun de ces derniers s'enroule sur un tambour spécial au sommet du plan [1]. Un moteur unique fonctionne sans discontinuité. Il actionne successivement les divers tambours, que l'on embraye ou désembraye à volonté. Ceux-ci sont en outre munis de freins, dont le mécanicien se sert pour modérer les vitesses à la descente. De cette manière, il y a toujours un train en marche ascendante, et pendant ce temps, l'autre, ou les autres, redescendent la pente, ou bien deviennent l'objet des manœuvres de décomposition ou de formation sur les garages extrêmes.

§ 3

CORDE SANS FIN

694 — Concevons que l'on coupe le câble-tête et le câble-queue après un quart de tour d'enroulement sur l'organe moteur de la machine, et que l'on ressoude leurs extrémités, de manière à constituer une corde sans fin. Nous admettrons qu'elle ait avec la poulie motrice une adhérence suffisante, et nous avons déjà indiqué (N° 664) les divers artifices que l'on peut employer pour la

[1] A Drifton (Pennsylvanie), on en voit jusqu'à trois (Henry, *Bull. min.*, 2e, VII; 604).

Digitized by Google

réaliser. Dès lors, il suffira d'actionner cette poulie dans un sens ou dans l'autre, pour entraîner le convoi suivant l'une ou l'autre des deux directions opposées. Tel est le système de traction mécanique de la *corde sans fin* [1].

Dans ces conditions, rien n'empêche d'atteler plusieurs trains à la fois en divers points du câble. On sera complètement assuré contre toute collision des convois marchant en même sens, puisqu'ils conservent une distance constante mesurée par le tronçon de câble qui les sépare. Seulement il devient nécessaire d'établir une seconde voie pour les trains inverses, comme dans le tail-rope à double effet, afin que la rencontre puisse s'opérer en des points quelconques, sans aucun assujettissement pour le service. La poulie de retour sera horizontale, et inscrite entre les axes des deux voies.

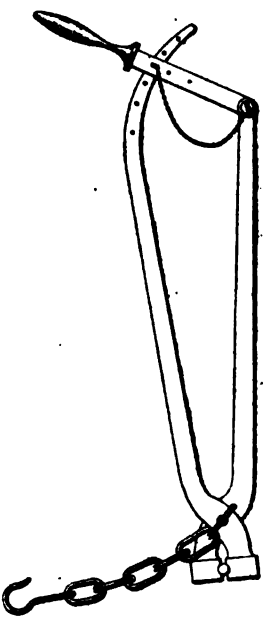


Fig. 474. — Tenaille d'attelage.

L'attelage du premier wagon s'effectue à l'aide d'une tenaille (fig. 474), serrée par un conducteur qui est placé sur ce wagon. Si le câble disparaît sous terre pour un passage à niveau, cet agent desserre la tenaille et laisse filer le train par la vitesse acquise; puis il ressaisit le câble avec un crochet, et serre de nouveau son étau.

Un conducteur d'arrière est muni d'une semblable tenaille, afin de pouvoir au besoin pincer le câble aux descentes sur lesquelles la pesanteur tendrait à *emballer* le train avec une vitesse désordonnée, différente de celle de la traction. Il communique avec le chef de train à l'aide de signaux acoustiques, ou de lanternes de couleur. Tous les deux se trouvent en relation avec le machiniste, au moyen

[1] Il figure, en dehors des travaux souterrains, pour la traction des tramways funiculaires dans certaines villes, ainsi que pour le halage mécanique de bateaux sur les canaux (Schriver, Système Rigoné, *Annales de l'Association des ingénieurs sortis de l'Ecole spéciale de Gand*, 1886).

Digitized by Google

d'une tringle métallique qui règne le long de la voie, et transmet nettement le son des coups frappés par les conducteurs.

§ 4

CHAINE TRAINANTE

695 — Imaginons que, dans le système de la corde sans fin, l'on subdivise indéfiniment les trains qui sont attelés en divers points de chacun des deux brins, et qu'en les décomposant en chariots indépendants, on espace le plus également possible ces véhicules sur tout le développement du tracé. Nous obtiendrons ainsi le système du *câble traînant*, ou de la *chaîne traînante*, qui se rencontre dans le South-Wales.

Il est clair qu'en raison de cette multiplication indéfinie des points d'attelage, il faut renoncer d'une part aux arrêts distincts pour l'embarquement ou la réception des véhicules aux gares de départ et d'arrivée, et de l'autre aux grandes vitesses, qui n'auraient pas le temps de se développer et de s'amortir alternativement sur des longueurs ainsi réduites outre mesure.

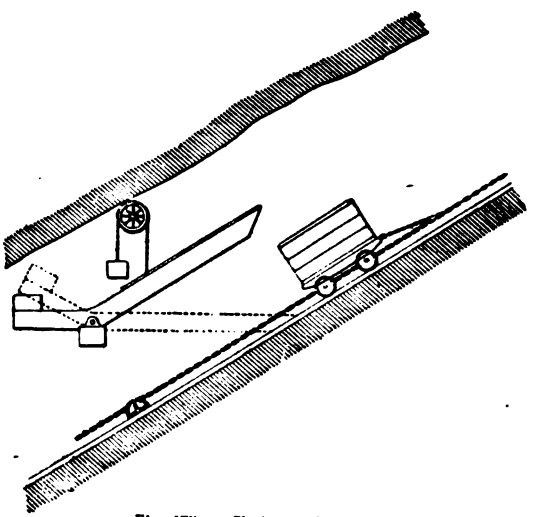


Fig. 475. — Chaîne traînante.

L'allure qui s'impose à un tel système est donc un mouvement continu et très lent ; et il reste à subordonner à cette nécessité fondamentale toutes les autres circonstances.

696 — On continue à atteler les wagons au câble, comme dans

Digitized by Google

le système de la corde sans fin. Seulement, au lieu de la tenaille, on emploie une chaînette, prestement enroulée autour du câble par le receveur, ou déroulée de même par lui, en profitant à cet effet de la lenteur du passage. Les embarquements s'effectuent aux diverses costresses sur des plates-formes de la voie, si elle est très peu inclinée, ou dans le cas contraire à l'aide de ponts volants équilibrés (fig. 475), que l'on a le temps d'abaisser de manière à faire la manœuvre, et de relever pour permettre le passage des wagonnets suivants, qui arrivent de l'aval-pendage.

§ 5

CHAINE FLOTTANTE

697 — *Chaînes et poulies.* — Dans le système de la chaîne flottante [1], on conserve à peu près le dispositif précédent; seule-

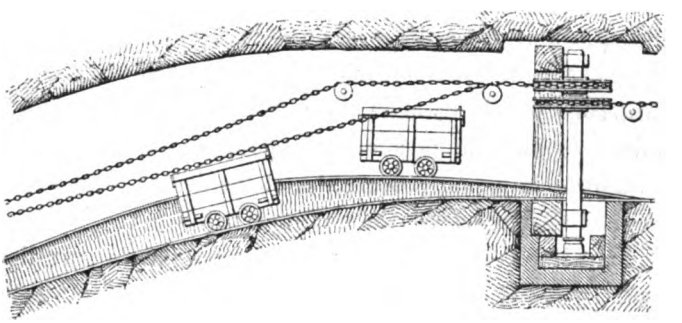


Fig. 476. — Chaîne flottante.

ment on se débarrasse des rouleaux qui sont coûteux, embarrassants et difficiles à maintenir en bon état de fonctionnement. On fait

[1] Blanchard, Chaîne flottante de Fillols, *Rev. univ. d. m.*, 2e, VI, 142. — Chaîne flottante de Dicido (Brüll, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XI, 234. — *Ingénieurs civils*, novembre 1883, 516. — Ferlat, *CRM*, février 1884, 17). — Chaîne flottante d'Aïn-Sedma, *Portefeuille économique des machines*, 1881, 146, 170. — Chaîne flottante de Quenast, *Ibidem*, 1885, 168. — Porte, Chaîne flottante, *Bull. technologique des Écoles d'arts et métiers*, mai-juin 1886, 428. — Biver, Passage des courbes dans les chaînes flottantes, *Bull. min.*, 3e, III, 237.

Digitized by Google

alors reposer la chaîne sur les wagonnets eux-mêmes (fig. 476). Ces derniers doivent, dans ce but, présenter un espacement assez restreint pour que la chaîne, en se courbant sous l'influence de la pesanteur, n'arrive pas à traîner sur le sol. Cette distance varie, selon l'importance relative du trafic et du trajet, entre 10 et 35 mètres.

Il n'existe plus alors d'attelage proprement dit. L'union du chariot avec la chaîne s'obtient directement d'une manière très simple. Celle-ci est à maillons oblongs, situés dans des plans alternativement rectangulaires. Le bord supérieur du wagonnet porte une fourchette verticale, dans laquelle on engage le plan de l'un des chaînons. Dès lors, le suivant vient se buter contre la fourche, et se trouvant dans l'impossibilité de passer au travers, sert par cela seul de remorqueur. Quelquefois même la simple adhérence suffit, quoique avec moins de netteté. On adopte à cet effet des chaînes lourdes, qui pèsent environ 8 kilogrammes par mètre courant.

698 — La poulie motrice et la poulie de retour sont *à empreintes*, afin que leur circonférence puisse recevoir une chaîne ainsi constituée. La jante est refouillée suivant une rainure médiane, où s'implanteront par la tranche ceux des maillons qui se trouvent placés dans le plan de la poulie. Le pourtour, au lieu d'être circulaire, affecte la forme polygonale, et ses divers côtés présentent une longueur égale à celle du chaînon.

Cependant il est nécessaire de tenir compte de la variation que subit peu à peu cet élément. Sous l'influence de la traction, l'ovale tend à s'aplatir, et, par suite, à s'allonger. Il est donc bon que le côté du polygone puisse éprouver, de son côté, la même modification. C'est ce que l'on réalise avec les poulies *à expansion*. La jante est alors formée de pièces distinctes, dont chacune présente la longueur minimum du chaînon. Elles peuvent, au moyen de vis, être éloignées plus ou moins du centre. Dès lors, le polygone circonscrit à leur ensemble s'amplifie homothétiquement de manière à recevoir les chaînons, malgré la variation qu'ils subissent [1].

[1] M. de Monicourt a proposé dans le même but des poulies partiellement dentées le long de secteurs que l'on peut caler dans des orientations variables. Quand l'allonge-

Digitized by Google

699 — Cette même circonstance exerce peu à peu son influence sur l'ensemble de la chaîne en modifiant sa longueur, et par suite, sa tension. On introduit, pour y remédier, un *chariot tenseur*. Il porte l'axe vertical de la poulie de retour, et se trouve sollicité à s'éloigner de la poulie motrice par un poids assez lourd, suspendu verticalement dans une fosse à un bout de chaîne passant sur une poulie verticale. De cette manière, le chariot se déplace en raison de l'allongement, de telle sorte que la tension de la chaîne sur la poulie de retour reste constante, et égale sensiblement à la moitié du contre-poids.

700 — *Voie.* — La voie est nécessairement rectiligne, ou du moins située dans un plan vertical. Si on lui donnait une courbure sensible dans le sens horizontal, la force centripète imprimée par la chaîne sur le sommet des wagons, en raison de la tension qu'elle subit, tendrait à faire verser les chariots dans la concavité du profil.

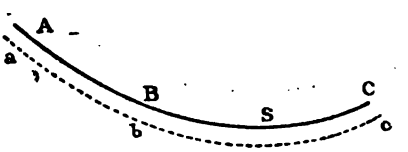


Fig. 477.

En ce qui concerne le sens vertical, la même difficulté n'existe pas, et la voie peut s'infléchir au besoin. Si nous traçons (fig. 477) entre les points A et B qu'il s'agit de réunir par une traction mécanique, la courbe qui porte le nom de *chaînette*, en la déterminant d'après les conditions extrêmes fournies par les éléments statiques de la question, il faut d'abord, pour que la chaîne reste dans les fourchettes des wagonnets, que l'ensemble de ces dernières dessine une ligne située *au-dessus* de AB. Elle les abandonnerait en effet pour rester suspendue en l'air suivant AB, si la courbe formée par les fourchettes se trouvait tout entière inférieure à cette chaînette. Pour la même raison, il est nécessaire en outre que ce profil ne descende nulle part au-dessous de l'arc de chaînette réunissant deux quelconques de ses points.

Si donc on trace une courbe *ab* parallèle à AB, en portant sur

ment arrive à être notable, on décale les secteurs et l'on fait ainsi varier leur espacement.

Digitized by Google

toutes ses normales, du côté de sa convexité, une longueur égale à la hauteur de la fourchette au-dessus du plan des rails, la voie ne devra pas s'abaisser au-dessous de cette ligne, et la seconde condition indiquée ci-dessus devra en outre être réalisée. Il faudra combler par des remblais, jusqu'au niveau ainsi déterminé, les dépressions excessives que le terrain présenterait dans l'intervalle, ou établir des *rouleaux abaisseurs*, susceptibles de tourner sur des axes transversaux situés au-dessus de la voie, et obligeant la chaîne à s'approcher suffisamment des rails. Cependant il sera préférable d'éviter, autant que possible, cette dernière complication.

Il peut parfaitement arriver que les conditions statiques du problème déterminent, d'après l'équation connue de la chaînette, non plus un arc AB situé entièrement d'un même côté du sommet S, mais un segment tel que AC comprenant ce sommet, et présentant par suite, ainsi que la courbe dérivée *ac*, une *contre-pente*.

701 — *Embranchements.* — Comme la configuration topographique se prête rarement à ce que la totalité du profil puisse être renfermée dans un même plan vertical, on tourne cette difficulté en attribuant à la projection horizontale une forme polygonale, dont les côtés devront être aussi longs et aussi peu multipliés que possible. Chacun d'eux deviendra le siège d'une chaîne flottante distincte, et il suffira de les relier ensemble d'une manière suffisamment simple.

Imaginons, à cet effet, au sommet P du polygone (fig. 478), un axe vertical portant deux poulies superposées, qui présentent un diamètre d'enroulement exactement égal à l'intervalle des axes des deux voies. Chacune d'elles sera embrassée par la chaîne flottante de l'une des travées. Dès lors celle qui est située du côté du moteur actionne sa propre poulie de retour, et par suite l'axe de la seconde poulie, qui à son tour entraîne la seconde chaîne.

702 — Pour faire franchir ce passage aux véhicules, on raccorde les deux alignements de chacune des voies ferrées AB et CD, *ab* et *cd*, par des congés BC et *bc*, en donnant à ces courbes une

Digitized by Google

certaine pente dans le sens de la circulation, c'est-à-dire dans deux directions respectivement opposées : de B vers C, et de *b* vers *c*.

En B se tient un receveur qui, au moment où chaque wagon lui arrive, soulève la chaîne pour la dégager de la fourchette, et imprime au véhicule une impulsion en raison de laquelle ce dernier, aidé de la pente, peut franchir seul la courbe.

En C se trouve un second receveur, qui se guide pour sa

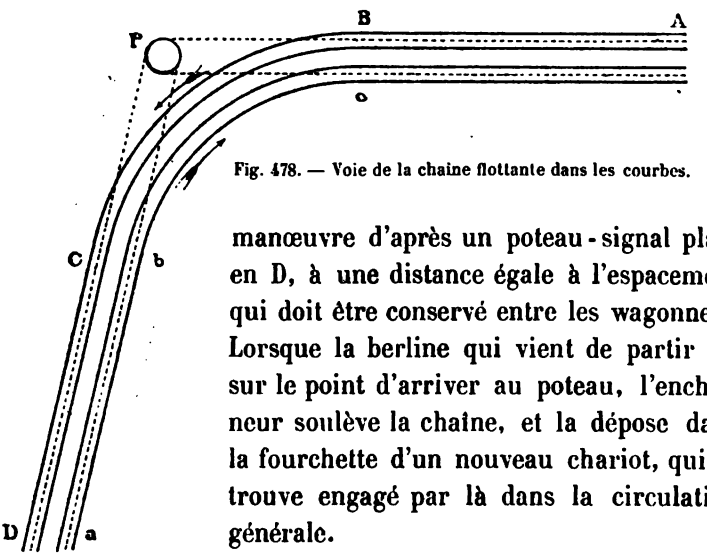


Fig. 478. — Voie de la chaîne flottante dans les courbes.

manœuvre d'après un poteau-signal placé en D, à une distance égale à l'espacement qui doit être conservé entre les wagonnets. Lorsque la berline qui vient de partir est sur le point d'arriver au poteau, l'enchaîneur soulève la chaîne, et la dépose dans la fourchette d'un nouveau chariot, qui se trouve engagé par là dans la circulation générale.

703. — La question des embranchements ne présente, d'après cela, aucune difficulté. Il suffit, au point de croisement du tronc commun et des deux branches, de monter sur un même axe trois poulies, au lieu de deux, en disposant de part et d'autre entre le tronc et chacune des branches les congés de raccordement dont il vient d'être question. Les receveurs des deux branches dégageront les wagons pleins qui leur arrivent, et l'enchaîneur du tronc commun les engagera tous dans la circulation qui conduit au point de concentration.

On préfère ordinairement éviter d'accumuler plusieurs poulies sur un même axe. Chacune a son arbre particulier, implanté dans

Digitized by Google

une crapaudine distincte, et tous communiquent entre eux par des engrenages.

704 — *Moteur.* — En ce qui concerne la mise en mouvement, trois cas peuvent se présenter.

Le premier, et le plus simple, est celui d'une machine motrice spéciale, actionnant directement la première poulie. C'est le cas de la *chaîne flottante motrice.* On l'emploie pour gravir les rampes, ou pour traîner en palier.

705 — Le second cas est celui de la *chaîne flottante en descente* (1). Il est destiné à amener les charges, d'un point supérieur à un niveau inférieur. Si la dénivellation, rapportée au déplacement horizontal, représente de la part de la gravité un travail suffisant pour vaincre les résistances passives, il sera inutile d'installer un moteur spécial. Le système devient alors l'équivalent d'un vaste plan automoteur, et la machine motrice y doit être remplacée par un frein, destiné à maîtriser les excédents de travail moteur.

Dans ce cas on peut supprimer, aux sommets du polygone, la solidarité des diverses travées. Elle était nécessaire, quand il s'agissait de transmettre d'un bout à l'autre l'action motrice de la vapeur, développée à une extrémité ; mais maintenant l'agent moteur, qui est la pesanteur, se trouve uniformément répandu sur tout le parcours, et les transmissions deviennent à cet égard inutiles. Ceci suppose cependant, bien entendu, que chaque travée conserve, pour son propre compte, une pente automotrice suffisante.

Chacune des chaînes constitue alors un service particulier. Les receveurs placés aux sommets successifs du polygone communiquent entre eux à l'aide de drapeaux pendant le jour, et de lanternes de couleur pendant la nuit. Si l'encombrement tend à se

(1) On en trouve un très bel exemple aux mines de fer du Canigou, pour lesquelles une chaîne en descente relie, à sept kilomètres de distance, les découverts de Filhols à la gare de Prades (Perrin, *CRM*, 1880, 145).

Je citerai également la chaîne flottante d'Aïn-Sedma (département de Constantine), qui rachète une dénivellation de 700 mètres, sur une longueur totale de 7160 mètres (Brüll, *Portefeuille économique* des machines d'Oppermann, octobre et novembre 1881, janvier 1882; *Bull. min.*, 2e, XII, 165. — Malissart. *CRM*, 1880, 58).

Digitized by Google

produire sur un point, on reporte de proche en proche un commandement d'arrêt. Si, inversement, une recette vient à manquer de véhicules pour la conservation des distances, l'enchaîneur, en engageant son frein, arrête momentanément la circulation sur sa travée.

706 — La troisième combinaison est celle de la *chaîne flottante d'équilibre*. On s'y passe en principe, tout à la fois, du moteur du premier cas, et du frein du second ; ou du moins on réduit à un rôle subsidiaire ce dernier organe, dont la présence effective reste pourtant nécessaire.

Le système consiste à mettre en relation deux chaînes flottantes, l'une en rampe, l'autre en descente. Elles sont destinées à concentrer, sur un niveau intermédiaire, les charbons de l'amont-pendage et de l'exploitation en vallée. Supposons pour un instant les deux productions égales, les poids morts s'équilibreront mutuellement; et si nous faisons, en ce moment, abstraction des résistances passives (dont il serait aisé de tenir compte dans un projet effectif), le travail que développe la gravité pendant la descente des charbons supérieurs pourra être affecté à la remonte du combustible de l'aval-pendage sur une hauteur égale [1]. Si les hauteurs à racheter sont différentes, les poids en mouvement devront se trouver dans un rapport inverse; et comme le poids mort reste proportionnel au chargement utile, ce même rapport devra exister entre les productions elles-mêmes. Il suffira donc de régler en conséquence l'activité des deux étages, et pour cela d'y répartir convenablement le personnel.

707 — La chaîne flottante d'équilibre peut, de même, être employée [2], non plus à opposer l'une à l'autre les circulations ascendante et descendante de deux étages situés de part et d'autre de la voie de roulage, mais pour effectuer sans moteur spécial la traction, sur ce niveau, du tonnage que l'on y descend de l'amont-

(1) On retrouve ici un second exemple des *chutes de charbon*, envisagées comme un moteur spécial, dans la théorie des plans bisautomoteurs (N° 682).

(2) *Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 210.

Digitized by Google

pendage. On dispose alors pour vaincre les résistances passives développées en palier aussi bien que sur le plan incliné, du travail de la pesanteur fourni par la descente du combustible. Il est facile de formuler le rapport à observer, à cet égard, entre les deux mouvements.

Appelons, à cet effet, P le chargement d'un wagon et p son poids mort, ϖ le poids de la longueur de chaîne qui lui correspond d'après l'espacement adopté, et m le coefficient de traction qui a été déterminé par la théorie des pentes (Nos 624 et 625). Le travail développé par la descente du charbon sur la hauteur verticale h a pour valeur Ph, et il n'y a pas lieu de tenir compte du poids mort, car il se trouve équilibré par celui d'un wagon vide qui remonte en même temps la rampe. Cette énergie disponible doit être affectée à vaincre, sur une certaine longueur horizontale l, les résistances développées par la traction du poids total, formé d'un chariot plein $P + p$, d'un chariot vide p, et de deux brins de chaîne de poids ϖ. On a donc l'égalité :

$$Ph = ml\,(P + 2p + 2\varpi),$$

qui servira pour calculer l. En général, un abaissement vertical donné peut suffire à entretenir le mouvement sur un palier 20 fois plus long [1].

§ 6

COMPARAISON DES DIVERS SYSTÈMES

708. — Le tail-rope et la corde sans fin admettent les grandes vitesses : 10 à 20 kilomètres à l'heure. Cette propriété est importante, afin de permettre de ne pas faire durer le trajet sensiblement plus que le temps nécessaire pour former et décomposer les trains

[1] Tous ces types de l'emploi de la chaîne flottante se voient aux mines de Mariemont, dont le magnifique réseau, à la fois extérieur (7930 mètres) et intérieur (9100 mètres), et son double mouvement à plein et à vide, rappellent l'idée de la double circulation du sang dans les systèmes artériel et veineux d'un être organisé.

Dans les mines de Burnley, il existe, de même, 120 kilomètres de chaîne flottante.

Digitized by Google

dont le mouvement va se produire, ou vient d'avoir lieu. La chaîne flottante marche, au contraire, avec une lenteur caractéristique, de 1 à 6 kilomètres par heure.

Il s'ensuit que les deux premiers systèmes peuvent suffire sur de grandes distances, pour une production importante et un matériel relativement restreint, tandis que le nombre des véhicules nécessaires croît proportionnellement à la longueur de la chaîne flottante.

Les deux premiers modes admettent des courbes, pourvu que le rayon ne descende pas au-dessous d'une limite de 20 mètres, qu'il serait dangereux de dépasser à cause de la vitesse. La chaîne flottante n'admet, en projection horizontale, que la ligne droite ou la ligne brisée.

Une seule voie suffit avec le tail-rope à simple effet, et la corde sans fin. Il en faut au contraire deux pour la chaîne flottante. L'adjonction de cette seconde voie aux deux autres systèmes leur communique, à la vérité, une puissance notable pour les grands trafics.

709 — A côté de ces avantages, il convient de mettre en balance les inconvénients suivants.

La corde-queue et la corde sans fin exigent l'emploi des rouleaux. C'est une complication, une dépense, une cause d'usure pour le câble. Au moins faut-il avoir soin d'arrêter le mouvement de la corde sans fin, dans les intervalles de temps où elle ne remorque aucun train. La chaîne flottante, au contraire, repose sur les wagonnets, sans prendre aucun déplacement relatif par rapport à ses points d'appui.

Les deux premiers systèmes ont besoin d'une voie particulièrement soignée, afin que le câble y puisse frotter sans trop d'inconvénients. L'état du ballast peut rester quelconque si l'on emploie la chaîne flottante.

Le tail-rope amène périodiquement aux extrémités un énorme encombrement, les trains comprenant souvent 30 à 60 wagons. Avec la chaîne flottante, on répartit le trafic aux gares d'une manière uniforme. Le système de la corde sans fin forme un intermédiaire entre les deux, mais il se rapproche surtout, sous ce rap-

Digitized by Google

port, du câble-queue. Le câble traînant, au contraire, présente plus d'analogie avec la chaîne flottante.

Le système corde-queue donnant des coups de collier à grande vitesse, exige une machine très puissante. On en a construit de 150 chevaux. La chaîne flottante, qui répartit sur un temps plus long un travail égal, en le réduisant même dans une certaine proportion par la modération de l'allure, peut admettre pour son moteur une puissance sensiblement moindre.

Le système de la chaîne flottante se trouve soustrait par sa lenteur aux chances d'accidents graves auxquels on est exposé avec le tail-rope.

710 — La discussion précédente réunit, comme on le voit, par de grandes analogies, le câble-queue et la corde sans fin, en les séparant de la chaîne flottante. Mais celle-ci se rapproche, sous un dernier rapport, du système câble-queue, par opposition à la corde sans fin. Cette dernière ne comporte en effet que le trajet unique sans embranchements, à moins que l'on ne consente, avant de changer de ligne, à écouler préalablement tous les trains engagés dans la partie de la voie que l'on veut abandonner momentanément. Les autres admettent les bifurcations, à l'état permanent avec la chaîne flottante, et au prix, pour le tail-rope, de manœuvres qui n'occasionneront pas de perte de temps, si on les effectue pendant la durée des opérations des gares extrêmes.

Il est de même une propriété commune à la chaîne flottante et à la chaîne sans fin, qui les sépare du câble-queue. Avec ce dernier système, en effet, il faut une longueur de câble triple de la distance des gares extrêmes, tandis qu'elle n'est que double pour les deux autres.

711 — Le prix de revient de la tonne kilométrique varie de 0 fr. 10 à 0 fr. 14 pour le tail-rope, et de 0 fr. 07 à 0 fr. 15 avec la chaîne flottante.

On voit par là, qu'en palier, ces chiffres ne diffèrent pas notablement de ceux que nous avons indiqués pour l'emploi des chevaux (N° 630), et que la comparaison des deux systèmes, en ce qui con-

Digitized by Google

cerne ce côté de la question, devra être chaque fois étudiée de très près, en entrant attentivement dans les détails. Mais sur les rampes la question change de face, et l'hésitation n'est plus possible. C'est là véritablement que l'emploi des tractions mécaniques joue un rôle décisif pour les transports souterrains.

Le tableau de la page 836 (1) fournira en outre un assez grand nombre de points de comparaison, relativement aux divers modes de traction mécanique.

§ 7

RÉGULARISATION DE LA TRACTION

712 — *Généralités.* — Lorsque l'extraction s'opère verticalement dans les puits, l'enroulement et le déroulement des deux câbles apportent, pour la répartition des poids, et par suite pour celle des travaux moteur et résistant dans la machine, une perturbation très importante. Les efforts des ingénieurs se sont exercés sur ce point, et ont donné naissance à un certain nombre d'inventions remarquables dont l'étude fera l'objet du chapitre XXXIII.

Cette influence se retrouve dans les tractions mécaniques, bien qu'à un moindre degré puisque la pesanteur n'agit plus alors que par l'une de ses composantes. Elle s'annule même complètement pour la traction sur palier, ou plutôt elle s'y réduit à une simple variation dans les résistances passives; mais, pour simplifier ces explications, nous ferons ici abstraction de ces dernières forces. Elle disparaît encore, avec l'enroulement lui-même, dans tous les systèmes fondés sur l'emploi d'une corde sans fin.

Quant aux voies inclinées, il y a lieu de faire une distinction entre les tractions en rampe et les plans inclinés automoteurs. L'influence perturbatrice existe encore, avec ces derniers; mais il est, en général, permis de ne pas s'en préoccuper. En effet, s'ils fonctionnent à l'aide d'un frein manœuvré à la main, on en sera quitte

(1) Dressé à l'aide des *moyennes* insérées dans le Rapport de l'Institut des ingénieurs des mines du nord de l'Angleterre (traduction de Briart et Weiler, Mons, 1872 p. 183).

Digitized by Google

ARTICLES		UNITÉS	SYSTÈMES DE TRACTION MÉCANIQUE			
			CORDE-QUEUE	CORDE SANS FIN	CABLE TRAINANT	CHAINE FLOTTANTE
TRAFIC	Durée de la journée	Heures et m.	12.00	9.45	10.52	8.40
	Transport par journée effective	Tonnes	482	431	407	328
	Transport en 12 heures	Id.	483	535	450	458
CHARIOTS	Chargement d'un chariot	Kilogr.	427	430	279	281
	Nombre de chariots par train	»	59	68	23	15
	Nombre nécessaire à la manœuvre	»	245	203	260	269
	Nombre total employé	»	432	450	400	»
VITESSE	Chariots pleins	Kilomèt. à l'heure	13,61	7,30	1,78	3,34
	Chariots vides		17,09	7,30	1,78	3,34
TRAVAIL	Moteur	Proportion en centièmes	13	12	»	»
	Câble		45	47	»	»
	Véhicules		42	41	»	»
	Travail total absolu	Chevaux	114	58	30	20
VOIE	Longueur avec embranchements	Mètres	2 124	956	1 287	1 643
	Parcours moyen d'un chariot	Id.	1 949	956	777	1 270
	Pente (par mètre)	Millimèt.	4,7	20,8	27,8	16,9
MAIN-D'ŒUVRE	Nombre d'ouvriers	»	11	11	14	6
	Salaire moyen	Francs	3,16	2,97	2,71	2,73
PRIX D'ÉTABLISSEMENT	Kilomètre de voie	Id.	11 308	12 902	13 983	14 821
	Mécanisme	Id.	27 863	14 060	24 522	6 948
PRIX DE REVIENT DE LA TONNE KILOMÉTRIQUE	Chaîne	Francs	0,0177	0,0169	0,0162	0,0052
	Chariot	Id.	0,0073	0,0094	0,0198	0,0111
	Graissage	Id.	0,0119	0,0111	0,0089	0,0100
	Charbon	Id.	0,0359	0,0152	0,0207	0,0165
	Machine	Id.	0,0063	0,0101	0,0125	0,0047
	Voie	Id.	0,0042	0,0042	0,0053	0,0044
	Main-d'œuvre	Id.	0,0375	0,0655	0,1088	0,0367
	PRIX TOTAL	Id.	0.1208	0.1324	0.1922	0,0886

Digitized by Google

pour engager plus ou moins celui-ci, afin de détruire une quantité variable de travail disponible. Cette inégalité n'introduit aucune complication comparable à l'importance de l'équilibre qu'il est nécessaire de conserver, dans les moteurs, entre les travaux positifs et négatifs. Si, au lieu d'un frein, on emploie un régulateur à ailettes, nous avons déjà dit que l'on accepte une certaine variation de vitesse, du commencement à la fin de l'excursion, due à l'influence des câbles. On en est quitte pour disposer de la grandeur des ailettes, de manière à maintenir ces vitesses extrêmes entre des limites acceptables. Cependant je dois ajouter qu'en ce qui concerne les plans inclinés de très grandes dimensions, on a pris quelquefois [1] les mêmes précautions qu'avec les tractions mécaniques en rampe.

713 — C'est donc surtout pour ces dernières que la question acquiert tout son intérêt. Deux moyens distincts peuvent être employés à cet égard. Le premier consiste à leur appliquer les divers dispositifs qui ont été imaginés à l'égard de l'extraction verticale, en y introduisant les modifications secondaires destinées à les adapter à ces nouvelles conditions. Ces indications prendront place dans le chapitre XXXIII.

Mais il existe encore, pour les tractions en rampe, une solution toute différente, qui leur est propre et ne trouve pas son équivalent dans l'extraction verticale. Elle consiste à modifier le profil en long de la voie, et à le creuser en courbe, de telle sorte que cet ouvrage, devenu par là une surface cylindrique, ne conserve plus alors qu'en raison de l'habitude le nom de *plan incliné*. Il suffira de déterminer ce *profil d'équilibre* de manière que les variations successives des poids moteur et résistant, dues à l'enroulement des câbles qui traînent à terre sur les rouleaux, se trouvent, à chaque instant, compensées par la modification continue qui s'opère dans l'inclinaison, et par suite dans la réduction de la pesanteur d'après le sinus de cet angle. L'un des deux poids augmentant en valeur absolue, si on le diminue en même temps

[1] St-Pierre d'Allevard (N° 671), le Cheylas (Isère), St-Georges d'Hurtières (Savoie).

Digitized by Google

d'après un rapport plus important qu'auparavant, le résultat pourra rester égal à celui de la réduction atténuée que l'on opère sur le poids amoindri. La courbe capable de cette pondération précise est la *cycloïde*, ainsi que nous allons le faire voir [1].

714 — *Rampe d'équilibre.* — On sait [2] que la tangente et la normale en un point M d'une cycloïde renversée (fig. 479) s'ob-

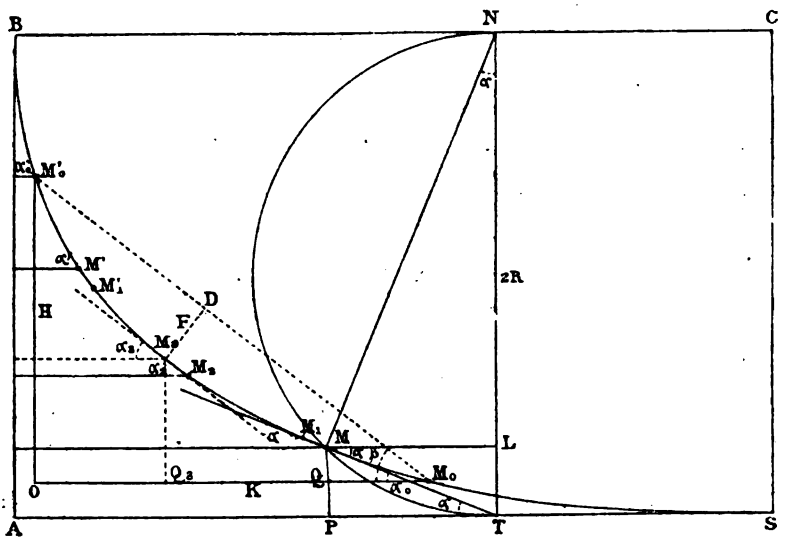


Fig. 479.

tiennent en le joignant aux points le plus bas T, et le plus haut N, du cercle générateur. De plus, l'arc s = SM, compté à partir du sommet S, est égal au double de la longueur MT de cette tangente. On a donc pour la valeur de cet arc :

$$s = 4R \sin \alpha, \tag{1}$$

$$ds = 4R \cos \alpha d\alpha, \tag{2}$$

en appelant α l'inclinaison de la tangente à l'extrémité.

[1] Cette détermination a été faite *a priori* d'une manière remarquable par M. le professeur Julius von Hauer (*Berg und Huttenmännisches Jahrbuch der k. k. Akademien zu Leoben*, XXXI). J'ai cherché depuis lors (*Annales*, 8e, III, 422) à en donner plus brièvement une démonstration *a posteriori*, que je reproduis ici.

[2] Haton de la Goupillière, *Eléments du calcul infinitésimal*, p. 196 et 198.

Digitized by Google

Imaginons que l'on installe, en un point arbitraire M'_0, une poulie sur laquelle passe un câble traînant, de longueur quelconque M'_0M_0. Les chariots attelés à ses deux extrémités occuperont à chaque instant des positions conjuguées M et M', satisfaisant à la condition :

$$MM_0 = M'M'_0.$$

Les deux brins M'_0M et M'_0M' du câble varieront donc, en sens contraires, de quantités égales :

$$MM_1 = M'M'_1,$$

pour passer de M et M' à des positions infiniment voisines M_1 et M'_1. Par conséquent on aura constamment :

$$(3) \qquad s + s' = \text{const.} = s_0 + s'_0,$$

c'est-à-dire d'après la relation (1) :

$$(4) \qquad \sin\alpha + \sin\alpha' = \frac{s_0 + s'_0}{4R},$$

et en différenciant :

$$(5) \qquad \cos\alpha' d\alpha' = -\cos\alpha d\alpha.$$

Cela posé, appelons q le poids du chariot vide, et Q celui du minerai. Le poids vertical $Q + q$ du wagon plein M a pour composante tangentielle $(Q + q) \sin\alpha$. Celle-ci gagne, en arrivant en M_1, une augmentation de valeur marquée par sa différentielle $(Q + q) \cos\alpha\, d\alpha$. D'un autre côté, la composante tangentielle $q \sin\alpha'$ du poids q du wagon vide M' varie également, en descendant en M'_1, de la quantité $q \cos\alpha'\, d\alpha'$, c'est-à-dire, d'après la condition (5) qui relie les points conjugués $-q \cos\alpha\, d\alpha$. Comme d'ailleurs elle se transmet à la poulie par un moment de sens contraire, on peut dire en d'autres termes que le moment total gagne

Digitized by Google

l'accroissement $+ q \cos \alpha \, d\alpha$. Il augmente donc, en définitive, de la quantité :

$$(6) \qquad (Q + 2q) \cos \alpha \, d\alpha.$$

En ce qui concerne maintenant le câble, le grand brin M'_0M, en se raccourcissant de MM_1 ou ds, fait disparaître le poids $\varpi \, ds$ de cet élément (si ϖ désigne le poids du câble par unité de longueur), c'est-à-dire (2) $4 \varpi R \cos \alpha \, d\alpha$. La composante tangentielle correspondante sera $4 \varpi R \cos \alpha \, d\alpha \sin \alpha$, ou, d'après (1), $\varpi s \cos \alpha \, d\alpha$. On aura de même, pour le petit brin, la variation $\varpi s' \cos \alpha' \, d\alpha'$, c'est-à-dire (5) $- \varpi s' \cos \alpha \, d\alpha$. Mais comme elle influence le moment total en sens contraire, on peut dire que celui-ci éprouve, en même sens, la variation $+ \varpi s' \cos \alpha \, d\alpha$, et par conséquent comme variation totale :

$$\varpi (s + s') \cos \alpha \, d\alpha.$$

c'est-à-dire (3) :

$$(7) \qquad \varpi (s_0 + s'_0) \cos \alpha \, d\alpha.$$

On reconnaît, d'après cela, en comparant les parties gagnées et perdues (6 et 7), qu'elles sont l'une et l'autre proportionnelles à $\cos \alpha \, d\alpha$. Il suffit donc, pour que ces variations se compensent sans cesse, que l'on établisse entre les coefficients constants la relation :

$$(8) \qquad \frac{Q + 2q}{\varpi} = s_0 + s'_0.$$

Le théorème se trouve ainsi démontré, et nous reconnaissons que *la cycloïde est une courbe d'équilibre.*

715 — Nous pouvons de même déduire de cette analyse les formules données par M. de Hauer pour la construction, par points et tangentes, de l'arc cycloïdal d'équilibre qui joint deux points directement assignés.

Digitized by Google

Nous avons à cet effet, d'après (4) et (8) :

$$\sin\alpha + \sin\alpha' = \frac{Q+q}{4\varpi R},$$

et, en particulier, aux extrémités M_0, M'_0 du parcours :

$$(9) \qquad \sin\alpha_0 + \sin\alpha'_0 = \frac{Q+q}{4\varpi R}.$$

Il vient en second lieu, pour l'ordonnée de la cycloïde rapportée aux axes coordonnés SA, SC :

$$y = MP = MT \sin\alpha = \frac{s}{2}\sin\alpha,$$

c'est-à-dire (1) :

$$y = 2R\sin^2\alpha,$$

ou encore :

$$(10) \qquad y = R(1 - \cos 2\alpha).$$

Si l'on applique cette formule aux deux extrémités, et que l'on retranche membre à membre les égalités ainsi obtenues, en désignant par H la dénivellation connue qui sépare ces points, il viendra :

$$H = 2R(\sin^2\alpha'_0 - \sin^2\alpha_0),$$

ou, d'après (9) :

$$(11) \qquad \sin\alpha'_0 - \sin\alpha_0 = \frac{2\varpi H}{Q+2q}.$$

On a d'un autre côté, comme expression de l'abscisse :

$$\begin{aligned} x &= SP = SA - AT + TP = CB - BN + LM \\ &= \frac{1}{2}\text{circ.} - \text{arc } NM + \frac{s}{2}\cos\alpha \\ &= \text{arc } TM + 2R\sin\alpha\cos\alpha. \end{aligned}$$

Digitized by Google

ou enfin :

$$(12) \qquad x = R\,(2\alpha + \sin 2\alpha).$$

On pourra ainsi construire le tracé à l'aide des formules (10) et (12), qui expriment l'abscisse et l'ordonnée en fonction du paramètre variable 2α.

Celui-ci fera connaître en même temps la tangente en chacun des points que l'on aura déterminés à l'aide des valeurs de x et de y. Seulement, le rayon R reste encore inconnu, et ces équations ne pourront réellement être mises en usage que lorsque nous nous serons procuré la valeur de cet élément, en fonction des données de la question.

716 — Nous possédons pour cela l'équation (9), qui le ramène à la détermination des inclinaisons extrêmes α_0 et α'_0.

Quant à ces inconnues auxiliaires, nous connaissons déjà entre elles et les données Q, q, ϖ, H, une première relation (11). Il suffit donc d'en obtenir une seconde. Comme d'ailleurs nous n'avons pas encore introduit la distance horizontale $K = OM_0$ des points donnés, il est bien clair que c'est en la rattachant à ces inconnues que nous nous procurerons la condition cherchée.

On a pour cela (12) :

$$K = x'_0 - x_0 = R\,(2\alpha'_0 + \sin 2\alpha'_0 - 2\alpha_0 - \sin 2\alpha_0),$$

d'où, en remplaçant R à l'aide de l'égalité (9) :

$$(13) \qquad \frac{2\alpha'_0 + \sin 2\alpha'_0 - 2\alpha_0 - \sin 2\alpha_0}{\sin \alpha_0 + \sin \alpha'_0} = \frac{4\,\varpi K}{Q + 2q}.$$

Il suffira d'effectuer la détermination de α_0 et α'_0, en appliquant aux deux relations (11) et (13) les procédés connus pour l'élimination des équations transcendantes à l'aide d'approximations successives.

Digitized by Google

Ces valeurs permettront d'établir le chariot-porteur en vue de la pente moyenne :

$$\frac{\alpha_0 + \alpha'_0}{2},$$

de manière à répartir également dans les deux sens le déversement qu'éprouvera durant le trajet le wagonnet placé sur la plate-forme.

717 — Nous pouvons maintenant, pour plus de simplicité, transporter l'origine au point O, en prenant pour axes coordonnés OM_0 et OM'_0, afin de réduire au minimum l'étendue de l'épure du tracé $M_0M'_0$.

On a, pour opérer cette transformation, les formules :

$$X = OQ = x'_0 - x,$$
$$Y = MQ = y - y_0,$$

c'est-à-dire (10 et 12) :

$$X = R\,(2\alpha'_0 + \sin 2\alpha'_0 - 2\alpha - \sin 2\alpha), \tag{14}$$
$$Y = R\,(\cos 2\alpha_0 - \cos 2\alpha). \tag{15}$$

La position M_2 de la rencontre sera fournie par la condition $s = s'$, ce qui donne (3) :

$$s_2 = \frac{s_0 + s'_0}{2},$$

ou encore (1) :

$$\sin \alpha_2 = \frac{\sin \alpha_0 + \sin \alpha'_0}{2};$$

d'où l'on déduira (14 et 15) les valeurs correspondantes de X_2 et Y_2.

On peut également déterminer le point M_3 qui est le plus éloigné du plan incliné M_0M_0', et par suite la flèche $F = M_3D$ de la rampe curviligne. Ce point est celui pour lequel la tangente est

Digitized by Google

parallèle à la corde M_0M_0', dont l'inclinaison β a pour valeur :

$$\sin\beta = \frac{OM'_0}{M_0M'_0} = \frac{H}{\sqrt{H^2+K^2}}.$$

On a donc la condition :

$$\sin\alpha_3 = \frac{H}{\sqrt{H^2+K^2}},$$

et par conséquent (14 et 15) les valeurs correspondantes de X_3 et Y_3. La valeur de la flèche est ensuite donnée par la formule :

$$F = M_3D = M_0Q_3 \sin\beta - M_3Q_3 \cos\beta,$$

c'est-à-dire :

$$F = \frac{H(K - X_3) - KY_3}{\sqrt{H^2+K^2}}. \tag{16}$$

Digitized by Google

CHAPITRE XXIX

CIRCULATION AÉRIENNE

—

§ 1

GÉNÉRALITÉS

718 — On a depuis longtemps cherché à utiliser, pour le transport de minerais ou d'autres matériaux, des câbles tendus au-dessus du sol, auxquels sont suspendus des véhicules mobiles. Ce procédé, trop encombrant dans les galeries souterraines, ne s'y est pas développé, mais il a reçu de nombreuses applications pour les transports à ciel ouvert.

Le système le plus simple, encore employé dans les pays de montagnes, soit pour de petites mines, soit pendant la période des recherches, consiste à faire usage d'un *câble unique* ayant une pente suffisante (10° au minimum). Sa longueur atteint parfois plusieurs centaines de mètres. On expédie de la partie supérieure des sacs de minerais supportés par une roulette ou par un crochet en bois graissé. Le choc à l'arrivée est amorti à l'aide de fagots de broussailles. On remonte les sacs et les roulettes à dos d'homme ou de cheval. L'installation est peu coûteuse et rapide, mais les pertes de matières utiles sont assez considérables[1].

Ce n'est là qu'une solution des plus primitives. Grâce à l'introduction des câbles métalliques, exclusivement employés aujourd'hui, et aux perfectionnements dont les appareils ont été l'objet

[1] *Annales*, 9e, VI, 596. — *La Nature*, 25 mai 1895.

Digitized by Google

depuis une vingtaine d'années, les câbles aériens rendent maintenant de précieux services dans bien des circonstances où les autres modes de transports seraient d'une application beaucoup plus dispendieuse et plus difficile. Ils se sont développés surtout au milieu de régions accidentées, et de conditions locales qui entraîneraient des dépenses inabordables pour l'établissement de voies terrestres. Ils présentent l'avantage de franchir sans ouvrages d'art tous les obstacles. Ils réduisent à une somme insignifiante. sous forme de droits de passage, les frais d'acquisition de terrains; ils peuvent se déplacer facilement; en somme, ils sont souvent économiques, tant comme premier établissement que comme frais d'exploitation, et leur usage est maintenant fréquent pour les mines, les carrières, les usines, ainsi que dans les exploitations agricoles, les défrichements de forêts et les travaux publics.

Les systèmes en usage se rattachent à plusieurs types distincts qui répondent à des besoins différents. Nous décrirons successivement les *câbles-norias*, les *chaînes flottantes aériennes*, les *plans inclinés aériens* et les *câbles aériens à voie unique*.

§ 2

CABLE-NORIA

719 — Les transporteurs appelés *câbles-norias* sont constitués par un câble unique sans fin, passant sur des poulies aux extrémités du parcours. Le mouvement est continu et uniforme. Le câble porte, tous les 30 ou 50 mètres, des bennes équidistantes; l'un de ses brins emmène les véhicules pleins, l'autre ramène les vides; et l'on constitue ainsi une sorte d'immense chaîne à godets (fig. 480). On dispose les poulies extrêmes de manière qu'elles aient la même inclinaison que le câble lui-même. L'une d'elles est portée sur un chariot tenseur muni d'un contrepoids.

Si la différence de niveau qui sépare les stations de départ et d'arrivée est assez grande, l'action de la pesanteur suffit pour vaincre les résistances passives et assurer le fonctionnement;

Digitized by Google

sinon, l'une des poulies est mise en relation avec un moteur spécial. On peut également associer deux câbles-norias ayant une station commune, en utilisant pour actionner l'un d'eux l'excédent de puissance disponible sur l'autre.

Lorsque la ligne présente une grande longueur, ou que l'on s'y voit contraint par le relief du sol, on soutient le câble de distance en distance à l'aide de poulies folles fixées à des chevalets en bois

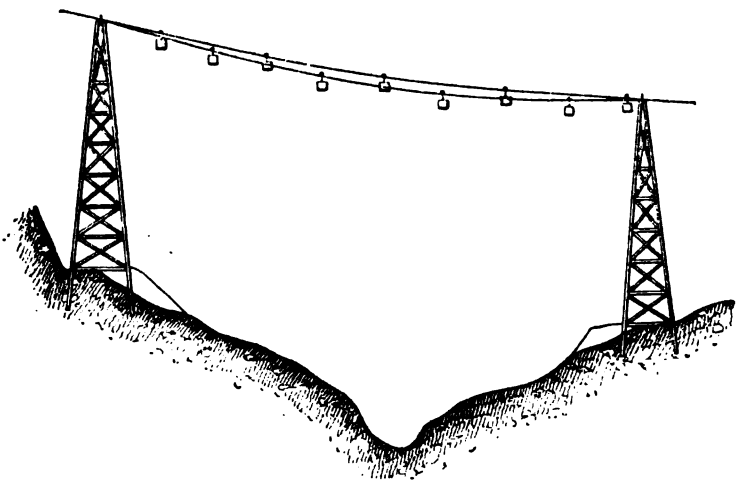


Fig. 480. — Vue d'un câble-noria entre deux supports intermédiaires.

ou en fer. Les bennes doivent alors être suspendues à l'aide de tiges en col de cygne, permettant le passage sur ces points d'appui.

720 — C'est une disposition de ce genre qui a été adoptée pour les câbles-norias du système Hodgson [1] installés aux mines de fer de Bilbao sur des longueurs de 1200 à 2900 mètres. La figure 481 indique la disposition des récipients, contenant 150 à 200 kilogrammes de minerai, ainsi que celle des supports intermédiaires. Chaque benne repose simplement sur le câble par un coussinet en caoutchouc. Au passage sur les points d'appui, une poulie portée par la tringle en col de cygne roule momentanément sur un rail

[1] *Génie civil*, III, 301. — *CRM*, 1878, 42. — *Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 230; IV, 670.

Digitized by Google

latéral, de manière à soulever légèrement le coussinet et à éviter les chances de déraillement. Des dispositifs analogues permettent de retirer et d'engager les godets aux stations de départ et d'arrivée. L'adhérence relativement faible des charges sur le câble ne permet pas d'employer ce système avec une pente suffisante pour le rendre automoteur.

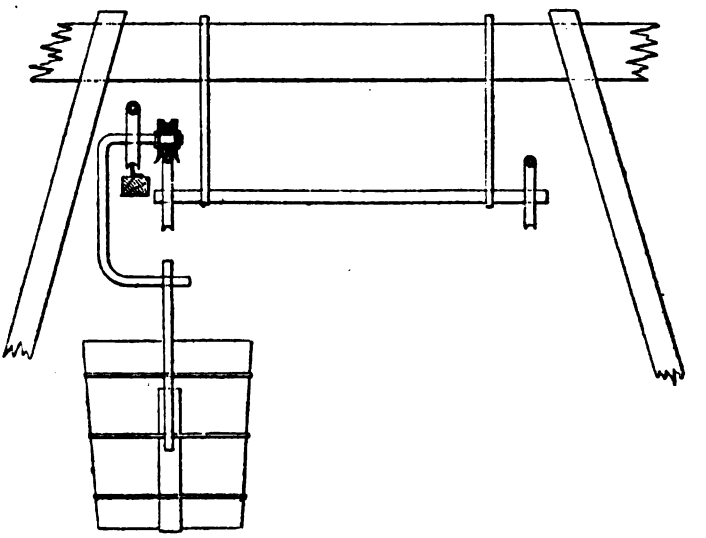


Fig. 481. — Câble-noria système Hodgson (coupe transversale).

Dans le transporteur Gourjon [1], les bennes, qui pèsent pleines 50 kilogrammes seulement, sont au contraire invariablement fixées au câble entre deux bagues qui les empêchent de glisser. Les poulies extrêmes sont verticales, au lieu d'être horizontales comme avec le système Hodgson. Des guides fixes relèvent latéralement les godets pendant leur passage sur les poulies; ils se vident ainsi automatiquement à l'arrivée, mais doivent être chargés pendant la marche à l'aide d'une trémie au point de départ.

721 — Avant d'établir un câble-noria, ou toute autre installation de transport aérien, il est très important de se rendre

[1] *Annales des Ponts et Chaussées*, 6e, XIV, 604. — *La Nature*, 25 mai 1895. — Système Muller, *Portef. économ. des mach.*, 1875, pl. 1-2.

Digitized by Google

compte de la fatigue qui sera imposée au câble dans les conditions où il se trouvera placé. Diverses méthodes de calcul ont été proposées à cet égard [1].

Les deux brins d'un câble-noria, en admettant que les charges soient suspendues à intervalles rapprochés, affectent le profil d'une chaînette dont la forme reste fixe. Nous admettrons toutefois avec M. Gros [2] que cette courbe puisse être remplacée dans le calcul par un arc de parabole; cette hypothèse n'a rien de hasardé, puisqu'elle fournit pour la tension maxima du câble un chiffre légè-

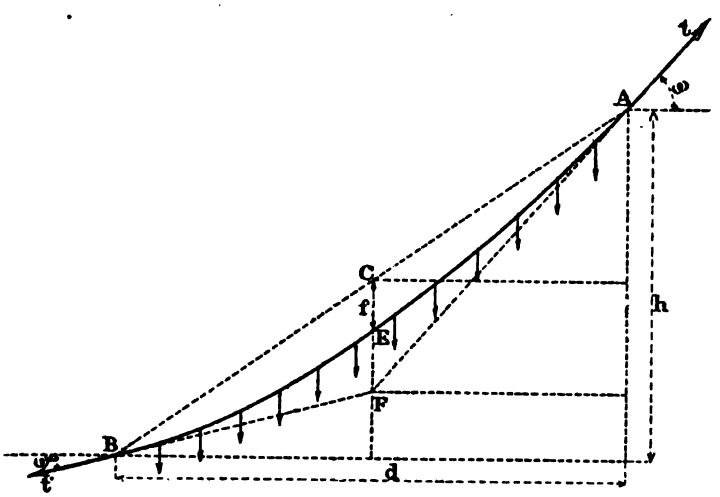


Fig. 482.

rement supérieur à la réalité. L'axe de la parabole sera d'ailleurs vertical, car nous négligerons l'effet de la force centrifuge, qui est insignifiante en pareil cas.

Comme c'est au point le plus haut que la fatigue devient maxima, c'est en ce lieu qu'il importe de calculer la tension. Soient t et t' les tensions aux points extrêmes A et B (fig. 482), et P le poids total suspendu au câble, en y comprenant, outre son propre poids, celui des bennes et des matières qu'elles contiennent.

[1] *Annales*, 8e, V, 430; 9e, VIII, 621. — *Annales des Ponts et Chaussées*, 6e, XVI, 365.
[2] *Annales des Ponts et Chaussées*, 6e, XIV, 615.

Digitized by Google

Si nous projetons successivement sur l'horizontale et la verticale, il viendra :

$$(1) \qquad t \cos \omega = t' \cos \omega', \qquad t \sin \omega = t' \sin \omega' + P.$$

En désignant par f la flèche CE mesurée *verticalement* à partir du milieu de la corde AB, et remarquant que, d'après les propriétés des tangentes à la parabole, CE est égal à EF, nous aurons :

$$(2) \qquad \operatorname{tang} \omega = \frac{\frac{h}{2} + 2f}{\frac{d}{2}}, \qquad \operatorname{tang} \omega' = \frac{\frac{h}{2} - 2f}{\frac{d}{2}}.$$

La division des équations (1) membre à membre donne :

$$\operatorname{tang} \omega = \operatorname{tang} \omega' + \frac{P}{t \cos \omega},$$

d'où l'on conclut, d'après les relations (2) :

$$(3) \qquad t = \frac{P}{8f} \sqrt{d^2 + (h + 4f)^2}.$$

Cette formule permet de savoir à quelle tension maxima se trouvera soumis un câble déterminé, en se donnant la flèche f pour en déduire la longueur, puis le poids. On pourra donc établir cet engin de manière que l'effort supporté par le brin affecté aux bennes pleines corresponde au coefficient de sécurité adopté. Ce dernier est souvent plus élevé que pour les câbles d'extraction ; il varie de $\frac{1}{7}$ à $\frac{1}{4}$, suivant l'importance attachée à la solidité et à la durée. On tiendra compte, en outre, de ce que la résistance à la rupture des fils métalliques est réduite de $\frac{1}{8}$ en moyenne par le câblage, et de ce qu'une épissure diminue en outre cette résistance de $\frac{1}{5}$ environ. Nous reviendrons plus loin avec détails (chap. XXXI) sur la constitution et les conditions d'emploi et d'entretien des câbles métalliques.

Digitized by Google

722 — Dans l'étude d'un projet de transporteur aérien, on a presque toujours à se préoccuper d'employer des câbles aussi légers que possible. Les avantages d'une réduction de poids sont importants. En dehors de son prix plus élevé, un câble lourd est difficile à conduire à pied d'œuvre et à mettre en place, notamment dans les pays de montagnes. En outre il exige, d'après la formule (3), une tension plus grande qu'un autre plus léger, et par suite une force motrice plus considérable. Les résistances passives résultent en effet de deux éléments, la raideur du câble et le frottement des tourillons des poulies ; lesquels augmentent l'un et l'autre avec la tension. On facilitera donc le fonctionnement, en même temps que les conditions d'installation, en réduisant le poids par mètre courant.

La formule (3) montre également que la tension nécessaire deviendra d'autant plus grande que la flèche admise f sera plus réduite ; on évitera par suite de diminuer inutilement celle-ci. Après avoir relevé le profil en long du terrain entre les stations extrêmes, on reconnaîtra aisément s'il est possible de tracer entre les points A et B (fig. 482) un arc de parabole d'axe vertical correspondant à une valeur convenable de la flèche ; soit environ $\frac{1}{10}$ à $\frac{1}{15}$ de la corde. Il est prudent de ne pas descendre au-dessous de $\frac{1}{20}$. Dans certains cas, on pourra faciliter le passage du transporteur en entaillant par des tranchées les points du sol les plus saillants. Sinon, l'on devra recourir à des supports intermédiaires.

723 — Les câbles-norias présentent l'avantage d'utiliser aussi complètement que possible la puissance que peut fournir l'action de la pesanteur. Ils sont relativement peu coûteux, car ils ne nécessitent qu'un seul câble, dont la longueur est double de celle du parcours. Avec une vitesse de translation ne dépassant pas 1 mètre à $1^m,50$ par seconde, ils admettent un tonnage assez considérable (350 tonnes par jour à Bilbao). En revanche, le mode d'attache des bennes au câble présente certaines difficultés. Il doit offrir une adhérence suffisante, tout en permettant la manœuvre facile des bennes aux stations extrêmes, ainsi que leur passage sur les points d'appui sans risque de chute ni de déraillement.

Digitized by Google

724 — On peut rattacher indirectement au principe des câbles-norias les transports à petites distances au moyen de toiles sans fin en sparterie ou en tissu métallique. Ce moyen est fréquemment utilisé dans les ateliers de préparation mécanique, ou de fabrication d'agglomérés [1].

Si la trajectoire, au lieu d'être sensiblement horizontale, se redresse sous une inclinaison marquée, on adapte à la chaîne sans fin des godets, qui la transforment en une noria. Ces organes sont usités pour le relevage des menus dans les fabriques de briquettes, et même à l'intérieur de certaines mines [2].

§ 3

CHAINE FLOTTANTE AÉRIENNE

725 — Le second type de transports aériens présente quelque ressemblance avec les câbles-norias; nous le désignerons sous le nom de *chaîne flottante aérienne*, par analogie avec un des modes de traction mécanique sur voie ferrée (N° 697). Le brin fixe n'est plus alors unique; le système comporte deux *câbles porteurs* parallèles, qui réunissent entre elles les stations terminus, et sur lesquels roulent de petits chariots à deux poulies supportant les bennes (fig. 483 et 484). Celles-ci sont en outre reliées l'une à l'autre par un câble sans fin plus mince, de longueur double, appelé *câble de traction*. Ce dernier passe, aux extrémités de la ligne, sur des poulies légèrement inclinées, et il est animé d'un mouvement continu. Selon la pente, et l'importance des résistances passives, cet appareil sera ou non automoteur. Des contrepoids communiquent aux câbles porteurs la tension nécessaire. On en adapte souvent aussi aux câbles tracteurs, en particulier sur

[1] On en a installé de 70 mètres de longueur à Saint-Pierre-d'Allevard.

[2] Ce système a été essayé par M. George à l'Espérance et à Ougrée (*Rev. univ. d. m.*, 1re, XXIX, 195). — Transporteurs-élévateurs de Buette, de Boulet et Villepigné (*Génie civil*, VIII, 138). — Transporteur de charbons Hunt (*Bull. Soc. d'enc.*, 4e, X, 1375).

Digitized by Google

les lignes de grande longueur où il devient utile de compenser les dilatations.

Le mode d'attache des bennes et du câble de traction admet de nombreuses variantes; ce dernier porte en général des bagues aux intervalles voulus, et la benne est munie d'un *grip* G (fig. 483) qui, manœuvré par un ouvrier, saisit ce câble entre ses mâchoires à la station de départ, et s'accroche à l'une des bagues au moment de son passage. A la station d'arrivée, le décrochage est le plus souvent automatique. Un doigt fixe ouvre le grip de chaque benne, et cette dernière, en vertu de la vitesse acquise, continue à s'avancer sur le câble porteur, puis sur un rail aérien qui lui fait suite.

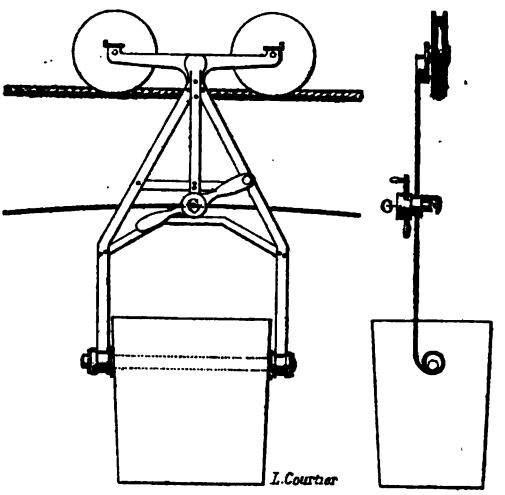


Fig. 483 et 484. — Chaîne flottante aérienne système Obach (élévations latérale et antérieure).

726 — L'installation d'une chaîne flottante aérienne donne lieu, pour chacun des deux porteurs, à un calcul de résistance semblable à celui que nous avons indiqué (N° 721) à l'occasion des câbles-norias [1]; celui qui porte les bennes vides pourra naturellement avoir une section plus réduite que l'autre. La flèche sera déterminée d'après les considérations que nous avons déjà présentées.

Ces engins devront d'ailleurs être choisis de manière à remplir certaines conditions. La souplesse ne leur importe pas dans le cas actuel. Par leur composition et par la nature de l'acier employé, l'on se préoccupera d'augmenter la résistance et de retarder l'usure.

[1] Le poids P doit ici comprendre en plus le poids du câble de traction,

Digitized by Google

sans arriver toutefois à un poids excessif. Il est utile en outre que pour faciliter le roulement des chariots, la surface extérieure soit aussi lisse que possible. Dans ce but, on enroule quelquefois dans des sens inverses les torons et les fils qui les composent : ceux-ci se présentent alors à la superficie suivant la direction longitudinale.

D'après le même motif, l'on emploie, pour raccorder deux tronçons d'un câble porteur, des manchons cylindriques de faible diamètre dans lesquels pénètrent, maintenues par une soudure, les extrémités qu'il s'agit de réunir.

On fait également usage de manchons pour protéger les parties qui arrivent à être affaiblies localement par l'usure.

727 — Le câble de traction se trouve, au point de vue du travail, dans des conditions bien différentes de celles des câbles fixes. Son poids est en effet entièrement supporté par ces derniers, et les charges mobiles n'agissent sur lui que par leurs composantes tangentielles.

Pour calculer l'effort auquel il se trouve soumis, nous supposerons qu'il ne soit pas tendu par des contrepoids, et nous ferons abstraction des résistances passives. Il sera facile, si cela devient nécessaire, de tenir compte de ces deux éléments. Les résistances passives interviendront notamment dans le cas où un moteur spécial actionnerait le transporteur. Il sera utile alors de remarquer que la différence de tension des deux brins aboutissant à la même poulie est précisément égale à la somme des résistances passives qui se développent dans cet organe.

Si l'on appelle p le poids de l'ensemble des charges mobiles uniformément réparties sur l'un des câbles porteurs de longueur l, la charge par mètre courant sera $\frac{p}{l}$. Celle que supporte un élément MN (fig. 485) aura pour valeur $\frac{p}{l}$MN, et sa composante tangentielle, qui seule agit sur le câble de traction, sera représentée par $\frac{p}{l}$MN sin α. Comme d'ailleurs MN sin α n'est autre que la projec-

Digitized by Google

tion LN de l'élément sur la verticale, on voit que, dans l'hypothèse où nous nous plaçons, la tension du câble de traction à son point le plus haut, c'est-à-dire à l'endroit où elle est maxima, sera fournie par l'expression $\frac{p}{l}$ H, en appelant H la différence de niveau entre ce sommet et le point le plus bas du câble porteur, qui a une forme identique à celle du câble tracteur. Cette évaluation reste exacte si les profils présentent une tangente horizontale, ou en d'autres termes si l'angle ω' (fig. 482) devient négatif. Complétée au besoin pour tenir compte des résistances passives et des contrepoids, elle permettra de reconnaître si un câble de traction déterminé présente une résistance suffisante. On le choisira aussi léger et aussi souple que possible. Le coefficient de sécurité concernant sa résistance pourra être plus faible qu'avec les câbles porteurs, car sa rupture constituerait un accident beaucoup moins grave; il s'abaisse quelquefois à $\frac{1}{3}$.

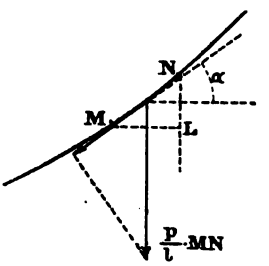


Fig. 485.

728 — Lorsque la configuration du terrain, ou la longueur de la ligne exigent des supports intermédiaires pour les câbles porteurs, des précautions s'imposent en vue d'éviter leur usure rapide en ces

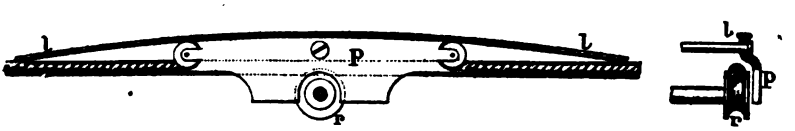


Fig. 486 et 487. — Chaîne flottante aérienne système Obach. Passage d'un câble porteur sur un point d'appui.

points d'appui. Chacun des câbles reposant sur une poulie *r* fixée au support (fig. 486 et 487), on le protégera au moyen d'une pièce fixe P, surmontée d'une lame *ll* sur laquelle rouleront momentanément les poulies des chariots.

Digitized by Google

Aux extrémités de la ligne, les bennes quitteront le câble porteur ou s'y engageront à l'aide d'organes analogues.

729 — Les chaînes flottantes aériennes sont employées pour des inclinaisons qui dépassent parfois 30 degrés. La vitesse de translation reste comprise entre 1 mètre et $1^m,50$ par seconde. Le débit peut atteindre 80 et même 100 tonnes par heure. La dépense de premier établissement est de 25 à 40000 francs par kilomètre. Les frais d'exploitation varient de 0 fr. 10 à 0 fr. 30 par tonne kilométrique, suivant l'activité de la ligne, le taux de la main-d'œuvre, et l'importance des dépenses nécessitées, le cas échéant, par le moteur.

La durée des câbles dépend beaucoup du soin avec lequel ils sont entretenus, et notamment de leur graissage. De temps à autre, on retourne de 90 degrés les câbles porteurs; on change de place les bagues du câble tracteur. On estime que les premiers peuvent, avec un bon entretien, durer de 5 à 10 ans, selon le travail qu'ils fournissent.

730 — De nombreux transporteurs de ce type fonctionnent actuellement. Ils appartiennent aux systèmes Bleichert (1), Otto (2), Beer (3), Obach, Huson (4), etc.

Parmi les lignes de grande longueur, la plus remarquable est celle qui a été construite en 1884 sur un développement de 30 kilomètres par la maison Obach en Hongrie, pour relier les usines à fer de Vajda-Hunyad à Gyalar, où elles prennent leurs minerais, et à Vadudobri, d'où proviennent les charbons de bois (5). Entre Vajda-

(1) *Génie civil*, III, 301. — *Portef. économ. des mach.*, février 1882, juin 1894. — *Revue industrielle*, 17 janvier 1891 et 9 septembre 1893. — *Bull. techn. des arts et métiers*, septembre 1891, 656. — *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, IX, 827. — *Engineering Magazine*, avril 1894, 18.

(2) *Génie civil*, III, 302. — *Annales industrielles*, 1889, I, 286. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, IV, 126; VII, 218. — *Chronique industrielle*, 1886, 207.

(3) *Annales industrielles*, 1888, II, 390.

(4) *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, IX, 834.

(5) Bochet et Lebreton, *Annales*, 8e, IX, 185. — *Bull. du Ministère des trav. publics*, mai 1886, 487.

Voir en outre pour d'autres installations de chaînes flottantes aériennes : *Portef. économ. des mach.*, novembre 1885 et octobre 1891. — *Rev. univ. d. m.*, novembre 1894. *Jahrbuch für Berg und Hüttenwesen*, 1884, 323. — *La Nature*, 25 mai 1895.

Digitized by Google

Hunyad et Gyalar (9 kilom. 5), la ligne se trouve divisée en deux sections; elle en comporte six de Gyalar à Vadudobri (20 kilom. 9). Chaque groupe de deux sections est actionné par un moteur placé à la station intermédiaire. En vue de simplifier l'installation et l'entretien, le diamètre unique de 26 millimètres a été adopté pour les câbles porteurs, et celui de 18 millimètres pour les tracteurs. Les bennes contiennent 100 kilogrammes de charbon de bois, ou 300 de minerai; elles sont espacées de 54 mètres sur la première partie, et de 134 dans l'autre où ne circule que le charbon; leur vitesse est de $1^{m},20$ par seconde. Des compteurs sont installés aux gares de départ et d'arrivée.

Nous signalerons également la ligne de 15 600 mètres, du système Bleichert, qui relie les mines de fer de Pinar de Bedar au port de Garrucha (Espagne), et qui met en mouvement 420 tonnes par journée de 10 heures [1].

Nous citerons enfin, pour son fort trafic, la ligne installée à Syracuse (États-Unis) d'après le système Otto Bleichert. Elle transporte des pierres à chaux sur 5 kilomètres, avec un débit journalier de 750 tonnes, et un prix de revient de 0 fr. 18 par tonne kilométrique [2].

Bien que d'une installation moins économique, les chaînes flottantes aériennes sont plus employées que les câbles-norias. Elles ont l'avantage d'être automotrices sur des pentes plus faibles, car les résistances passives sont beaucoup moindres, grâce à la souplesse du câble moteur. Le mode d'attelage des bennes est plus sûr, et se prête mieux à l'installation de supports intermédiaires. Les câbles porteurs s'usent moins vite, et durent plus longtemps.

[1] *Rev. univ. d. m.*, 3e, VII, 218. — *Bull. de l'Assoc. amic. des Élèves de l'École supér. des mines*, août 1894, 105.
[2] *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, IX, 830.

Digitized by Google

§ 4

PLAN INCLINÉ AÉRIEN

731 — Dans certaines circonstances où les systèmes précédents deviendraient trop dispendieux, eu égard au but proposé, on a recours à un autre type qui présente une grande analogie avec les plans inclinés ordinaires. Les *plans inclinés aériens* (1) comportent.

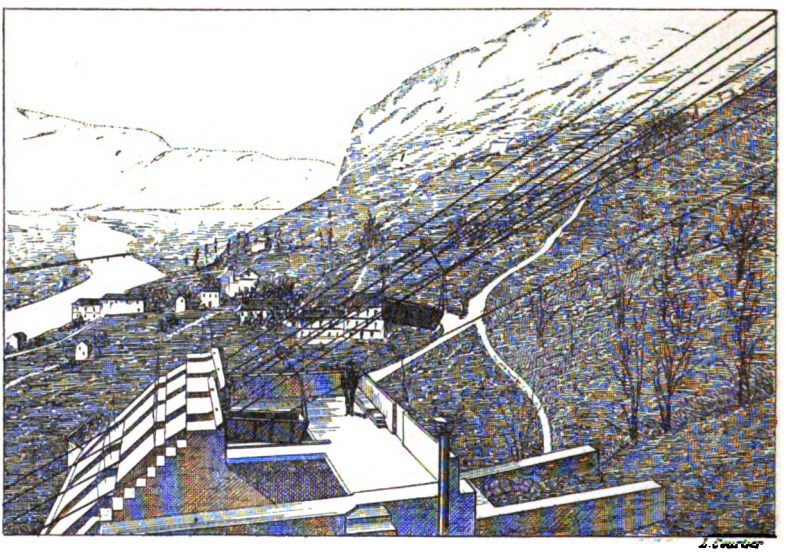


Fig. 488. — Plans aériens de la Porte de France à Grenoble.

comme les chaînes flottantes aériennes, deux câbles porteurs fixes et un câble de traction; mais la charge n'est plus ici uniformément répartie sur toute la longueur des premiers; elle est constituée par un train unique, formé d'une ou plusieurs bennes, qui roule sur l'un des porteurs, tandis qu'un train semblable

(1) *Bull. min.*, 2e, XII, 31. — *Annales*, 8e, V, 455, Berger; 9e, VI. 593, Babu. — *Bull. Associat. scientif. de France*, 7 novembre 1885, 93. — *Comptes rendus de l'Associat. franç. p. l'avancement des sciences*, 1886, 290. — *Génie civil*, XX, 340. — *Revue gén. des sciences pures et appliquées*, 15 avril 1895, 320. — *Portef. économ. des mach.*, 1864, pl. 37. — Exposition universelle de 1889, *Rapport du jury international*, groupe VI, classe 61, p. 353.

Digitized by Google

circule sur l'autre en sens inverse (fig. 488). Ces convois sont chargés de minerai alternativement. Le câble de traction qui les réunit embrasse à la partie supérieure une poulie à frein, semblable à celles des plans inclinés ordinaires. C'est presque toujours un câble sans fin, qui passe en bas sur une seconde poulie. Un contrepoids est nécessaire pour assurer sa tension, car il n'est plus soutenu qu'en un point par chacun des porteurs.

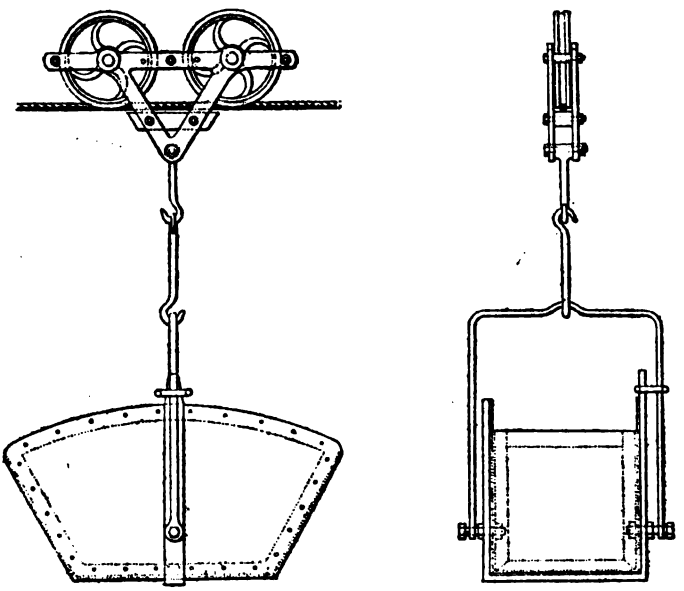


Fig. 489 et 490. — Plan incliné aérien système Balan (élévations latérale et antérieure).

Les bennes (fig. 489 et 490) sont constituées comme celles des chaînes flottantes aériennes; mais l'appareil qui les unit au brin de traction est simplifié; on le remplace souvent par une ligature.

732 — Ce système n'est guère employé que lorsque la pente est assez accentuée pour le rendre automoteur. Il peut servir à remonter des minerais, lorsque l'on dispose, à la recette supérieure, d'une quantité suffisante de déblais, ou même d'eau, pour charger le train descendant.

Avec les plans aériens *bisautomoteurs*, on utilise l'excédent de

Digitized by Google

travail disponible sur l'une ou l'autre des poulies pour actionner, au moyen d'une seconde roue calée sur le même axe, un autre plan non automoteur aboutissant au même point. Les rayons des deux poulies conjuguées sont proportionnels à la longueur des parcours. Quant au poids utile maximum que l'on peut remonter ainsi sur le second plan, il dépend non seulement de la longueur de ce dernier, mais de sa pente. Des dispositifs spéciaux permettent parfois d'immobiliser cet appareil indépendamment du premier (1).

733 — Un calcul rigoureux de la tension supportée par les câbles porteurs serait ici plus complexe encore que dans les cas précédents, car leur forme se modifie incessamment avec la situa-

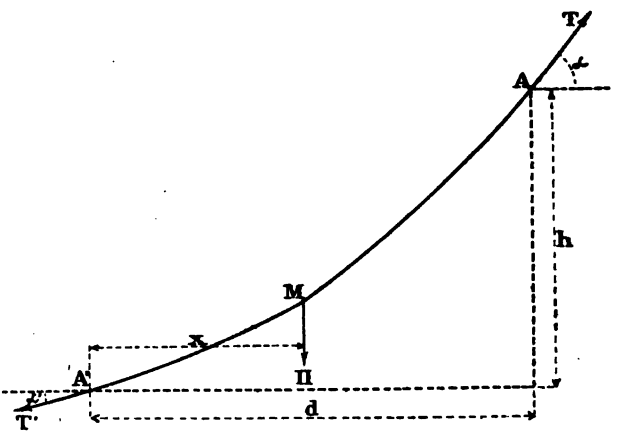


Fig. 491.

tion de la charge. On peut toutefois, à l'aide de la méthode suivante, déterminer approximativement cette tension d'une manière suffisamment exacte, et en déduire les dimensions à donner aux câbles (1).

Un câble porteur de plan incliné est soumis, en dehors de son

(1) Babu, *Annales*, 9e, VI, 628.

(2) Gros, *Annales des Ponts et Chaussées*, 6e, XIV, 615. — Berger, *Annales*, 8e, V, 435. — Babu, *Annales*, 9e, VIII, 621. — Léauté, *Génie civil*, VI, 267. — Compagnie de Chatillon-Commentry, *Tréfileries et câbleries mécaniques*, in-8°, 1890, 110.

Digitized by Google

poids P, à l'action des forces T et T′ (fig. 491), et à celle du poids Π de la charge mobile. Les tensions T et T′ sont variables avec la position de la benne. Nous supposerons (ce qui reste toujours au-dessus de la réalité) que Π comprenne, outre le poids du véhicule plein de minerai, celui de la longueur AA′ du câble de traction [1]. En outre nous négligerons comme précédemment l'action de la force centrifuge.

En projetant successivement sur l'horizontale et la verticale, on obtient :

$$T \cos \alpha = T' \cos \alpha'$$

$$T \sin \alpha = T' \sin \alpha' + P + \Pi;$$

d'où l'on tire :

$$(1) \qquad T^2 = T'^2 + (P + \Pi)(P + \Pi + 2T' \sin \alpha')$$

$$(2) \qquad T'^2 = T^2 + (P + \Pi)(P + \Pi - 2T \sin \alpha).$$

Il vient d'autre part, en prenant les moments par rapport aux points A′ et A :

$$(3) \qquad \frac{Pd}{2} + \Pi x = T(d \sin \alpha - h \cos \alpha)$$

$$(4) \qquad \frac{Pd}{2} + \Pi(d - x) = T'(h \cos \alpha' - d \sin \alpha').$$

Ces formules permettent d'évaluer la plus grande fatigue imposée à un câble de poids déterminé. Elle n'est autre que la valeur maxima de la tension T; l'équation (1) montre en effet que T′ est toujours inférieur à T lorsque, comme nous le supposons, α' reste constamment positif.

Cette dernière condition est d'ailleurs indispensable pour les plans inclinés automoteurs [2], car si le câble présentait sous l'action de la charge une contrepente à l'arrivée, la benne pourrait

[1] On pourra d'ailleurs n'y faire entrer qu'une évaluation approchée du poids de ce dernier câble.

[2] Elle exige que la différence de niveau entre les points extrêmes soit suffisante; sinon elle conduirait à imposer aux câbles une fatigue inadmissible eu égard à leur résistance.

Digitized by Google

s'arrêter en route lorsque son impulsion serait insuffisante, et il en résulterait une grave interruption du service.

La méthode à suivre pour le calcul de T varie selon que le câble porteur se trouve tendu par un contrepoids à l'une ou l'autre de ses extrémités.

Si ce poids est placé en bas, on a :

$$T' = \text{const.}$$

L'équation (1) montre que, dans ce cas, T devient maximum en même temps que α', c'est-à-dire, d'après l'équation (4), pour $x = d$. On commencera donc par déduire T' de cette dernière égalité en y faisant $x = o$, et en attribuant à α' la valeur qu'on veut lui voir prendre à ce moment. T' étant ainsi connu, l'on calculera d'après la même relation la valeur spéciale de α' qui correspond à $x = d$. On déduira enfin de (1) celle de T.

Lorsqu'au contraire le contrepoids se trouve placé en haut, c'est-à-dire si l'on a :

$$T = \text{const.}$$

il s'agit de savoir quel devra être son poids. L'égalité (4), dans laquelle on se donnera comme ci-dessus la valeur de α' pour $x = o$, fournira l'expression correspondante de T'. Ces valeurs de α' et de T', transportées dans la relation (1), permettront ensuite de calculer T.

Les quatre formules ci-dessus donnent d'ailleurs le moyen d'évaluer T, T', α, α' pour une position quelconque de la charge. L'on pourra connaître en particulier l'inclinaison du câble à l'un de ses bouts au moment où la charge atteint l'extrémité opposée. On en déduira par approximation la longueur, en remarquant qu'il n'est plus alors soumis qu'à l'action de son poids, et que l'on peut par suite, comme nous l'avons fait au N° 721, assimiler sa forme à celle d'une parabole d'axe vertical; celle-ci sera facile à construire d'après cette inclinaison.

En résumé, cette méthode permet de calculer la tension maxima et la longueur du câble, après que l'on s'est donné arbitrairement

Digitized by Google

son poids. On connaîtra donc le travail imposé au métal par millimètre carré de section utile. Au moyen de quelques tâtonnements successifs, on pourra déterminer le poids du câble, et par suite ses dimensions, de manière que cette fatigue corresponde à un coefficient de sécurité admissible.

Si le porteur, au lieu d'être tendu par un contrepoids, doit être amarré à ses deux extrémités, il ne se prête plus facilement à un calcul de la tension maxima ; on ne peut guère l'évaluer qu'en vertu d'assimilations plus ou moins exactes. Le plus simple sera de chercher alors la valeur maxima de T en se plaçant dans les conditions les moins favorables, c'est-à-dire en supposant le contrepoids à la partie inférieure, et en opérant comme nous l'avons indiqué plus haut pour cette hypothèse.

734 — En dehors du procédé relativement précis, mais assez compliqué dans la pratique, que nous venons d'indiquer, on pourra évaluer la tension maxima exercée sur chacun des câbles porteurs par une méthode empirique approximative indiquée par M. Gros [1].

Elle consiste à leur appliquer la formule (3), que nous avons établie au N° 721, en donnant à la flèche f la valeur qu'elle devra prendre pour le câble seul, débarrassé de toute charge mobile, et en acceptant comme valeur de P le poids total (câbles et charge mobile réunis); le chiffre ainsi obtenu est ensuite majoré d'un cinquième en vue de fournir la tension maxima cherchée.

On remarquera que la flèche du câble augmente notablement lorsqu'il supporte une charge localisée en un de ses points. La courbe décrite par le point de suspension reste toutefois à l'intérieur d'une ellipse ayant pour foyers les extrémités du câble et pour grand axe sa longueur, que l'on déterminera approximativement d'après la valeur choisie pour f. Si cette ellipse, tracée sur le profil en long, reste à distance convenable des points saillants du terrain, la trajectoire de la benne les évitera de son côté.

735 — Quant au câble de traction, le travail qu'il doit supporter se décompose en deux parties. La première est la tension

[1] *Annales des Ponts et Chaussées*, 6e, XIV, 620.

Digitized by Google

qu'on lui communiquera au moment du montage, pour que par son seul poids, indépendamment de toute autre charge, il prenne une flèche comprise entre $\frac{1}{10}$ et $\frac{1}{20}$ de sa corde (N° 722).

A cette tension, calculée d'après la formule (3) du N° 722, viendra s'ajouter incessamment un effort variable, résultant de la composante tangentielle du poids du chargement mobile (benne et minerai). Si ϖ désigne le poids de cette charge, et γ l'angle que fait le câble tracteur avec l'horizon au point de suspension, la composante tangentielle sera $\varpi \sin \gamma$. Elle atteindra son maximum en même temps que γ au moment où la charge partira du sommet du plan.

Pour évaluer le travail maximum imposé au câble de traction, l'on ajoutera donc à sa tension, calculée comme s'il était seul, l'effort $\varpi \sin \gamma$, en attribuant à γ la valeur que prend cet angle à la partie supérieure du profil. Cette dernière pourra être connue approximativement, en ne tenant compte que du câble tracteur, au moyen de l'équation (2) du N° 721; mais il sera plus exact de la prendre égale à l'inclinaison α du câble porteur au même instant (N° 733).

L'évaluation précédente suppose négligeable l'effet des forces d'inertie. Il sera nécessaire d'en tenir compte si la vitesse de marche doit être rapide et les arrêts brusques, car l'action du frein produit alors un effort considérable à l'arrivée [1].

Les câbles tracteurs de plans aériens devront présenter les mêmes qualités que ceux qui sont employés pour les chaînes flottantes.

736 — La portée maxima des câbles peut devenir avec ce système plus considérable qu'avec les précédents, leur charge étant relativement moindre. On a ainsi franchi sans appui des distances de 800, et même de 1000 mètres. Des supports intermédiaires y sont admissibles; mais comme la vitesse est souvent de 10 à 25 mètres par seconde, ils deviennent quelquefois une cause de déraillement. Aussi, dans les régions où la main-d'œuvre est à bas prix, préfère-t-on supprimer tout point d'appui sur le parcours, et adopter

[1] M. Babu a indiqué un mode de calcul applicable en pareil cas (*Annales*, 9e, VI, 619).

Digitized by Google

un système de plans successifs. Il est alors utile que ces derniers présentent, autant que possible, des longueurs peu différentes, afin d'offrir des capacités de trafic analogues.

L'inclinaison moyenne d'un plan aérien peut atteindre 45 degrés. Le poids d'une benne chargée est en général de quelques quintaux; mais on a parfois dépassé une tonne.

Le débit est très variable suivant l'importance de la charge et la longueur de l'ouvrage; il varie en général de 60 à 120 tonnes par journée de 10 heures. Un plan de 750 mètres de long, muni de bennes portant 250 kilogrammes, transporte facilement 7 à 8 tonnes à l'heure.

737 — Les plans inclinés aériens sont d'une application fréquente; ils ont l'avantage d'être d'une installation beaucoup moins coûteuse que les types précédents. Leur prix varie de 6 000 à 10 000 francs par kilomètre. Ils conviennent bien dans certaines circonstances spéciales, notamment lorsque le tonnage est faible et ne justifierait pas d'importantes immobilisations, ou lorsqu'il s'agit de mouvoir des charges indivisibles très lourdes. Ils sont d'un emploi commode avec les pentes rapides. Enfin la faculté de pouvoir franchir de grandes distances sans point d'appui les rend souvent très utiles dans les pays de montagnes.

Ces plans aériens donnent de médiocres résultats à l'intérieur des travaux souterrains; un essai en a été fait dans un montage intérieur de la mine de phillipsite de Pierrefitte, dont il eût été très coûteux de rebancher la sole pour y établir un plan automoteur ordinaire.

§ 5

CABLE AÉRIEN A VOIE UNIQUE

738 — Les trois types de circulation aérienne que nous avons décrits jusqu'à présent exigent que les points de départ et d'arrivée soient fixes. Un dernier système, que nous désignerons sous le nom de *câble aérien à voie unique*, permet d'effectuer le char-

Digitized by Google

gement et le déchargement en un point quelconque du transporteur [1].

Le câble porteur unique P (fig. 492) est tendu, parfois à grande hauteur, au-dessus de l'exploitation ou du chantier; il supporte un chariot roulant, qui est attelé à un câble de traction sans fin TT', et au-dessous duquel se trouve fixée une moufle permettant de soulever la charge ou de la déposer. A une extrémité de la ligne,

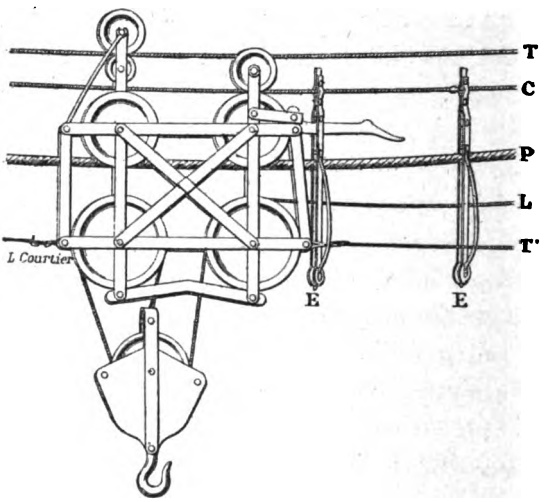


Fig. 492. — Transporteur à voie unique. Chariot Lingerwood avec parachute Miller.

deux moteurs agissent, l'un sur la poulie motrice du câble tracteur, l'autre sur un treuil actionnant une corde de levage L.

Mais il importe d'éviter que cette dernière, lorsqu'elle se déroule sans aucune tension de son treuil de manœuvre, vienne à prendre une flèche excessive. On la relie donc de distance en distance au câble P par des étriers ou parachutes EE, munis de deux galets dont l'un repose sur le câble porteur tandis que l'autre soutient la corde L. La figure 492 représente un dispositif imaginé par

[1] *La Nature*, XXIII, 23. — *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, IX, 838. — *Transact. americ. min.*, octobre 1890; octobre 1891; XVI, 233. — *Engineering News*, 26 janvier 1893. — *Engineering Magazine*, novembre 1894. — *Colliery Guardian*, 3 mai 1895. — *Engineering and mining Journal*, 19 janvier 1895.

Digitized by Google

M. Miller [1] : les étriers sont installés sur un éperon faisant partie du chariot, et se détachent automatiquement l'un après l'autre grâce à un quatrième brin C, appelé *corde à boutons*, qui est fixe et porte de distance en distance des renflements, ou boutons, de grosseur croissante. Sur cette corde sont enfilés tous les étriers, percés eux-mêmes de trous de différents diamètres. Lorsque la cage s'éloigne, chaque bouton en retient un au passage en laissant les autres sur le chariot. Au retour, l'éperon les ramasse tous. D'autres dispositifs remplissant le même but, et n'exigeant pas un quatrième câble, ont également été proposés.

Ces appareils sont quelquefois simplifiés par la suppression du brin T′ du tracteur compris entre le chariot et le moteur ; c'est alors le câble de levage qui sert à ramener la charge vers le treuil.

On peut aussi substituer au chariot à moufle un train d'une ou plusieurs bennes, lorsqu'il s'agit de transports à effectuer entre deux stations fixes.

739 — Les câbles aériens à voie unique se sont beaucoup répandus, notamment aux États-Unis, où ils sont employés à l'exploitation des carrières et des forêts, ainsi que sur les grands chantiers de travaux publics.

On a même eu la hardiesse de les appliquer au transport des voyageurs [2]. Nous mentionnerons, par exemple, le tramway aérien qui a fonctionné à Knoxville (États-Unis) de 1891 à 1894 pour la traversée de la rivière Tennessee, mais dont l'exploitation a été arrêtée à la suite d'un accident. Un wagonnet suspendu à deux câbles porteurs franchissait un espace de 300 mètres d'une rive à l'autre, à 100 mètres de hauteur. A Brighton (Angleterre) on a récemment établi, au-dessus d'un ravin, une ligne de 345 mètres de longueur. Afin que les deux porteurs soient horizontaux, on les a reliés par de nombreux supports à un câble supérieur parabolique, comme un tablier de pont suspendu.

(1) G. Richard, *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, IX, 831.

(2) *Scientific American*, 17 mars 1894, 161. — *La Nature*, 12 janvier 1895. — *Génie civil*, XXVIII, 282.

Digitized by Google

§ 6

TELPHÉRAGE

740 — Il nous reste à signaler un type spécial de circulation aérienne, désigné sous le nom de *telphérage*, qui ne nécessite que des câbles fixes, et dans lequel le mouvement des charges mobiles est effectué par l'électricité [1].

MM. Ayrton et Perry ont d'abord proposé de réaliser ce mode de transport à l'aide d'une ligne métallique unique parcourue par un courant électrique, et formée d'une série de câbles ou de tiges de fer identiques, placés bout à bout et reliant entre eux des supports équidistants. Des commutateurs, installés sur chaque support, devaient assurer normalement la continuité du passage du courant. Le train mobile portait sur son premier véhicule une dynamo reliée électriquement aux câbles par l'intermédiaire des chariots de tête et de queue. Ceux-ci étaient d'ailleurs disposés de telle sorte que le premier ouvrait au passage chacun des commutateurs, tandis que le dernier les refermait. Le courant traversait donc constamment la dynamo, à la condition que le convoi eût une longueur supérieure à l'intervalle entre deux supports; le mouvement était transmis aux poulies du wagonnet de tête. Ce système ne semble pas avoir été appliqué.

M. Jenkin a construit en 1885, pour l'exploitation d'une carrière d'argile à Glynde (Comté de Sussex), un transporteur analogue, de 1600 mètres de longueur, dans lequel les commutateurs ont disparu. Il comporte deux voies parallèles, semblables à celles de MM. Ayrton et Perry; mais sur chaque support, les extrémités des tringles métalliques sont réunies entre elles comme l'indique la figure 493. Les deux chariots extrêmes, dont l'intervalle est égal à la distance entre deux supports, communiquent ainsi à tout instant avec les pôles de la dynamo fixe D. Les roues des autres véhicules

[1] *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, XII, 510. — *Lumière électrique*, XI, 126; XII, 299 et 337; XXI, 289. — *Bull. du ministère des trav. publics*, XIII, 196. — *La Nature*, 8 décembre 1894.

Digitized by Google

sont électriquement isolées. Le moteur M reçoit donc un courant qui change de sens à chaque travée, mais le mouvement n'en est pas moins continu, car sa direction ne dépend que de la position des balais de la dynamo M.

Plus récemment, M. Lamb a installé aux États-Unis des transporteurs électriques (1) comprenant un câble porteur et un câble de

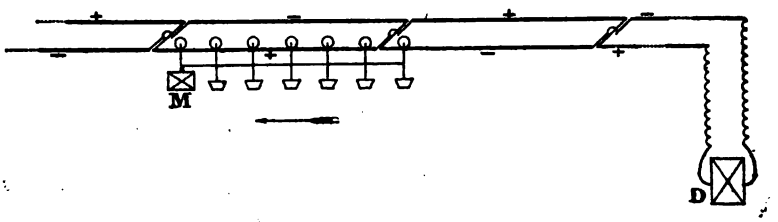


Fig. 493. — Telphérage système Jenkin (schéma des circuits).

traction, fixes tous les deux. Ce dernier fait le tour d'une poulie actionnée par la dynamo du train; le courant arrive à celle-ci par le porteur, tandis que le câble de traction, sur lequel le moteur se hale, forme conducteur de retour. Ce procédé paraît plus pratique que les précédents.

§ 7

BILLON DES ARDOISIÈRES

741 — On peut rapporter au principe de la circulation aérienne les moyens d'extraction qui ont été imaginés depuis longtemps pour les grands découverts ardoisiers, sous les noms de *billon de conduite* et *billon de rappel*.

Le premier (fig. 494) convient aux excavations qui n'ont qu'un seul *chef*, sur lequel on installe le moteur. Il présente une certaine analogie avec un transporteur aérien à voie unique, et consiste en un système de deux câbles, dont l'un sert de guide, tandis que l'autre effectue l'extraction. Ce dernier passe sur une molette et

(1) *Génie civil*, XXVI, 75. — *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, IX, 843. — *Proceedings of Amer. Society of civil Engineers*, août 1894. — *Scientific American*, septembre 1894, 137.

Digitized by Google

une bobine. Le second, ou *billon de conduite*, est amarré successivement en des points variables du fond de la fosse d'après le déplacement des chantiers. On règle sa longueur et sa tension au moyen d'un treuil établi sur le chef de la carrière. Il porte une poulie roulante à gorge, à la chape de laquelle s'attache l'extrémité inférieure du câble porteur soutenant le *bassicot*.

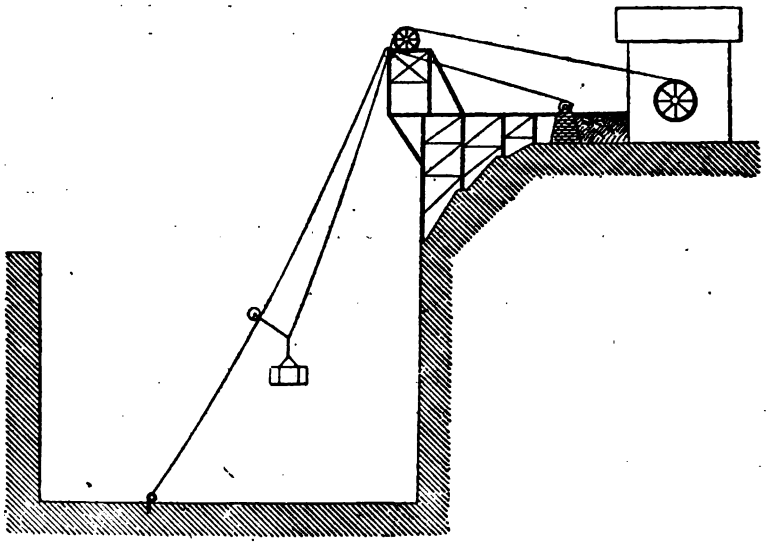


Fig. 494. — Billon de conduite.

742 — Le second dispositif (fig. 495) suppose que la fosse présente deux chefs escarpés, dont l'un porte le moteur et l'autre le point d'attache, pour dispenser de l'assujettissement résultant de sa variation dans le fond de la carrière. A cet effet, l'on établit parallèlement à ce second chef un gros câble fixe auquel s'amarre, en des points variables, le *billon de rappel*, dont la longueur est réglée à l'aide d'un treuil. Cette variation du point d'attache permet de disposer à volonté du plan vertical qui le réunit au moteur, et dans lequel restent compris ce billon de rappel ainsi que le câble porteur. Le bassicot est suspendu à l'extrémité commune de ces deux cordages, et s'élève en raison de la traction exercée par la machine sur le câble porteur, en décrivant autour du point

Digitized by Google

d'amarrage un cercle déterminé de manière que cette trajectoire parvienne à la recette supérieure.

Ces moyens de transport ne sont pas sans danger. On doit s'attacher à ne remplir les bassicots que jusqu'à un certain niveau au-dessous de leurs rebords; il est également nécessaire d'y attacher

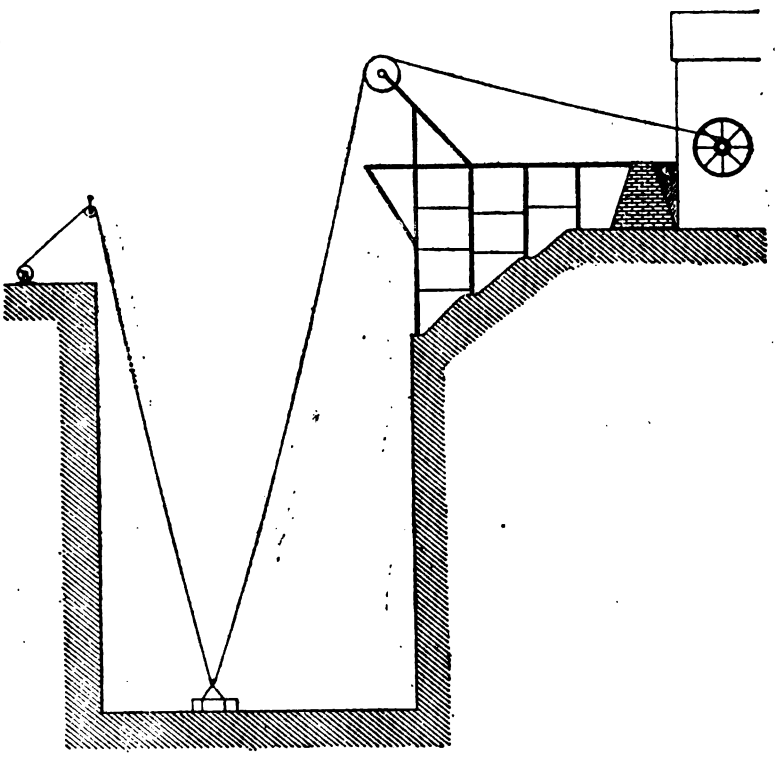


Fig. 495. — Billon de rappel.

solidement les blocs de dimensions importantes que l'on élève par ce moyen. Dans la partie du parcours où les câbles deviennent verticaux, il se produit souvent des mouvements de rotation très fâcheux; l'un d'eux tendant à *se vriller* autour de l'autre. On a proposé divers moyens de remédier à cet inconvénient; le plus simple paraît être l'emploi des câbles plats.

Digitized by Google

§ 8

MONORAIL

743 — Lorsque l'on substitue aux câbles porteurs aériens formés de fils métalliques des rails en fer ou en acier, tout en conservant les mêmes dispositifs pour les câbles de traction, on réalise des systèmes de circulation appelés *monorails* (1). On obtient ainsi des transporteurs analogues, soit aux chaînes flottantes aériennes, soit aux câbles aériens à voie unique, soit plus rarement aux plans inclinés aériens.

Les installations de ce genre sont plus robustes que celles qui ne comportent que des câbles métalliques; par contre, elles sont plus coûteuses et réclament des supports très rapprochés. Elles conviennent surtout pour les gros transports effectués à l'intérieur des usines; cependant on a également essayé de les utiliser pour des lignes à voie unique à grande distance. Dans ce dernier cas, le monorail est souvent remplacé par deux poutrelles accolées, entre lesquelles passent les tiges de suspension ou le câble de levage, reliant la charge mobile à un petit chariot porteur à quatre roues.

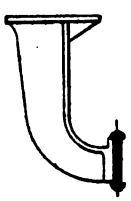


Fig. 496.
Monorail de Blanzy.

Parmi les transports aériens sur rails installés en France, nous citerons celui des mines de Blanzy (2), qui a 80 mètres de longueur, et qui remonte 90 à 100 tonnes de menus par heure d'un atelier de criblage jusqu'aux lavoirs, en passant au-dessus de toutes les voies de garage du port. Ce dispositif comprend deux voies distantes de 2 mètres, et formées de rails de 160 millimètres de hauteur fixés à des chaises en fonte (fig. 496). Un câble tracteur sans fin

(1) *Portefeuille économique des machines*, juin 1894, 84. — *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, IX, 844. — *Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 232. — Chemin de fer sur rail suspendu, *Bulletin du ministère des travaux publics*, mai 1884, 456. — Chemin de fer Colson, *Génie civil*, IV, 365. — Chemin de fer Lartigue, *Annales industrielles*, novembre 1888, 647, et *Revue des questions scientifiques de la Société de Bruxelles*, avril 1887, 640.

(2) *CRM*, 1890, 184.

Digitized by Google

assure le mouvement des bennes, comme dans le système de la chaîne flottante. Leur espacement est de 27 mètres, et leur vitesse de $1^m,35$ par seconde; l'accrochage et le décrochage aux stations extrêmes s'opèrent automatiquement.

744 — Indépendamment des appareils avec câbles de traction, l'on utilise aussi les monorails pour les mouvements à effectuer d'un atelier à l'autre d'une même usine, chaque benne étant alors poussée par un ouvrier qui la suit. Des aiguillages peuvent être établis sur ces voies aériennes. C'est généralement par des dispositifs de ce genre que se terminent à leurs extrémités les transporteurs sur câbles métalliques.

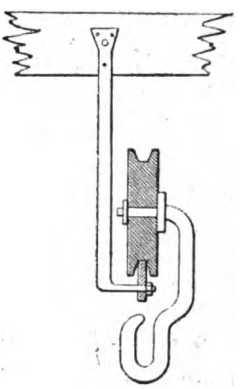


Fig. 497.
Monorail de mine.

On a autrefois essayé, sans grand succès, à la Grand'Croix (Rive-de-Gier), à Marvelay (Saône-et-Loire) et en Angleterre [1], d'appliquer ce système dans des galeries de mines dont la sole tourmentée obligeait à un remaniement incessant des chemins de fer ordinaires. La voie Palmer était constituée par un rail unique (fig. 497), suspendu à des corbeaux en charpente fixés à l'un des piédroits de la galerie. L'encombrement qui en résulte, le ballottement des véhicules, et souvent aussi le défaut de solidité des parois, qui a pour résultat de fausser le rail, rendent ce mode de transport peu recommandable pour les travaux souterrains.

[1] *Rev. univ. d. m.*, 2e, III, 232

Digitized by Google

CHAPITRE XXX

LA FORCE MOTRICE DANS LES MINES

—

§ 1

MOTEURS ANIMÉS

745 — *Force de l'homme.* — L'intervention d'une force motrice pour mettre en action le vaste appareil des tractions mécaniques (chap. XXVIII), nous a fourni un exemple important de l'application des moteurs à un travail souterrain. Nous en rencontrerons d'autres analogues destinés à l'extraction, à l'épuisement, à l'aérage. Je saisirai cette première occasion pour présenter ici, à un point de vue général, quelques considérations relatives à l'emploi des moteurs dans l'exploitation souterraine.

Nous envisagerons en premier lieu les moteurs animés, et tout d'abord la force humaine.

On appelle *manœuvre* l'homme auquel on ne demande que de dépenser sa force, sans y apporter une habileté spéciale qui caractérise au contraire l'*ouvrier* mineur. Le manœuvre est employé pour le pelletage, le brouettage, le roulage, l'élévation des poids, le virage de la manivelle ou du cabestan. Sa capacité de travail varie notablement avec la nature de la besogne qu'il est chargé d'effectuer. Elle atteint, dans une journée de 8 heures, les moyennes suivantes [1] :

[1] Claudel, *Aide-mémoire*, 14.

Digitized by Google

	kilogrammètres.
Pelletage (1)	38 880
Brouettage	43 200
Élévation des poids à dos	56 160
Élévation des poids avec une poulie	77 760
Virage à la manivelle (2)	172 800
Herschage horizontal	207 360
Roue à marche	259 200
Élévation du poids de l'homme (3)	280 800

L'effet utile du travail d'une femme ne peut être évalué qu'aux deux tiers de celui de l'homme. Il en est de même pour un jeune herscheur de 15 à 16 ans.

La variation progressive de la force suivant l'âge est mise en évidence par les nombres suivants, relatifs à l'effort que l'homme peut développer *momentanément* avec les bras (4) :

Nombre des années.	Effort en kilogrammes.
14	47,9
16	63,9
18	79,2
20	84,3
25	88,7
30	89,9
40	87,0

La plus grande force que l'homme puisse exercer *accidentellement*, en tirant ou poussant horizontalement, est de 50 à 60 kilogrammes. Il peut soulever un poids variant entre 200 et 300 kilogrammes, et porter à quelque distance 150 kilogrammes. Ces

(1) A la hauteur de 1m,60.

(2) Dans les conditions du travail des mines, on ne doit compter que sur 140 000 kilogrammètres (Callon, *Cours d'exploitation*, II, 141. — Demanet, *Cours d'exploitation*, II, 58). — Combes admet le chiffre de 150000 d'après les expériences de Böbert (*Traité d'exploitation des mines*, III, 89. — *Annales*, 3e, VIII, 433).

(3) En gravissant une pente douce.

(4) *Annuaire de l'Observatoire de Bruxelles*. 1847, 200.

Digitized by Google

chiffres, bien que déjà excessifs, ont été cependant quelquefois quadruplés dans des cas absolument extraordinaires [1]. On voit des femmes porter quarante, et jusqu'à cinquante kilogrammes sur la tête.

746 — *Force du cheval.* — Le cheval joue un rôle important dans l'exploitation souterraine. Certaines houillères anglaises possèdent une cavalerie de 200, et même 300 chevaux. Si la nature de la mine admet des galeries élevées, on trouve avantage à employer de fortes races. Dans les autres cas, on a recours à de petits poneys, ne dépassant pas 90 centimètres au garrot.

Le cheval peut exercer accidentellement des efforts de 300, et au besoin 500 kilogrammes. Sa capacité quotidienne de travail est exprimée en kilogrammètres par les nombres suivants [2] :

Traction au pas	2 168 000
Traction au trot.	1 568 000
Manège au pas.	1 166 400
Manège au trot	972 000

On admet pratiquement pour le travail des mines un million de kilogrammètres [3].

Le cheval est sensible à l'état de la température et de la ventilation. Son rendement en subit de suite une influence très marquée (N° 630). Le bon entretien des galeries, qui ne doivent pas être pavées, celui du matériel roulant, l'expérience des conducteurs, la régularité de l'allure contribuent aussi à améliorer l'effet utile.

En outre de l'effectif nécessaire pour le service journalier, il est prudent d'avoir en réserve quelques chevaux de relai, dans la proportion d'un vingtième au moins.

L'extraction, dans certaines mines d'Espagne, est faite par des

[1] A. Evrard, *Les moyens de transport*, I, 3. — Courtois, *Traité des moteurs*. — Pélissier, *Traité des maladies des artisans*, 305.

[2] Claudel, *Aide-mémoire*, 14. — Boissier, *CRM*, 1895, 205 — *Considérations pratiques sur l'emploi du cheval de mine*, Alais, 1895, in-8°

[3] Callon, *Cours d'exploitation*, II, 141.

Digitized by Google

mules ou par des ânes. On peut leur demander, au manège et au pas, les rendements suivants :

Mulet	777 600
Ane	322 560

Le mode d'emploi le plus ordinaire du cheval est la traction en palier. Si l'on doit élever des chariots sur une rampe, il faut bien se garder de la faire gravir en même temps par cet animal. Il devra dans ce cas tirer en palier à l'aide d'une corde ayant la même longueur que le plan incliné, et passant autour d'une poulie placée à la tête de ce plan.

On peut également faire descendre le cheval sur la voie inclinée, si elle présente assez de largeur. Il agit alors en tirant à plein collier, et en ajoutant à son effort musculaire une certaine composante de son poids. Il remonte ensuite seul, pendant que les chariots vides redescendent d'eux-mêmes par l'action de la pesanteur.

On peut enfin enrouler la corde sur l'arbre d'un *manège* (fig. 206), en attelant sur ses brancards un ou plusieurs chevaux. Il faut avoir soin de laisser traîner une reculoire, qui, sans opposer aucune résistance à la rotation directe, se pique en terre, en empêchant tout mouvement rétrograde, si l'animal se trouve maîtrisé par une résistance qu'il soit impuissant à surmonter. L'effort diminue vers la fin par suite de l'enroulement du câble, qui cesse d'ajouter son propre poids à celui de l'enlevage. Aussi voit-on quelquefois des extractions, commencées au pas, finir au trot, et même au galop, quand il y a intérêt à gagner du temps. La marche inverse paraîtrait plus naturelle à première vue, en raison de la fatigue qui s'accumule; mais elle serait au contraire irréalisable. Pour ces *vargues*, ou *baritels*, le rayon de circulation doit être aussi grand que possible, dans les limites compatibles avec les nécessités du soutènement. Il ne saurait, en aucun cas, descendre au-dessous de $2^{m},50$ [1].

Les manèges sont parfois remplacés par des *piétineuses*, qui

[1] *Bull. Soc. d'enc.*, 1re, XVI, 267, 296; XVII, 375; XIX, 26, 32; XXVIII, 267; XXX, 303.

Digitized by Google

sont moins coûteuses et moins encombrantes. Ces appareils sont constitués par des planchers inclinés et mobiles, formés de lames articulées, sur lesquels les chevaux marchent sans avancer.

§ 2

MOTEURS HYDRAULIQUES

747 — *Force hydraulique.* — Avant l'invention de la machine à vapeur, la force hydraulique constituait pour les mines le moteur par excellence. Elle y joue encore aujourd'hui un rôle d'une certaine importance. Cette forme de l'énergie est particulièrement bien adaptée aux convenances de l'exploitation souterraine. Elle résulte en effet de deux facteurs : le poids de l'eau débitée, et la hauteur de chute. Or l'on ne rencontrera, pour aucune forme de l'industrie, autant de facilité à augmenter cette hauteur que dans les mines; pour celles, du moins, qui possèdent une galerie d'écoulement servant à évacuer les eaux dans quelque vallée voisine. Il suffit, en ce cas, d'introduire le liquide par la partie supérieure des travaux, et de l'écouler au dehors par cette galerie, après avoir recueilli sur des récepteurs appropriés le travail dont il devient, par sa descente, le véhicule.

Il est même arrivé très exceptionnellement que pour se procurer, sur certains points de l'intérieur, une force d'un emploi commode, on y dirigeait des eaux dont on recueillait le travail, en les recevant ensuite dans le puisard, d'où la machine à vapeur d'épuisement les relevait au jour, en même temps que les infiltrations de la mine. Cette double opération est incontestablement antiéconomique, et ne saurait se motiver que par quelque avantage spécial dans un cas particulier.

748 — Quant au second facteur, à savoir la quantité d'eau, on a fait parfois pour l'augmenter des dépenses considérables, en opérant le captage des eaux superficielles sur d'immenses étendues. On voit de ces bassins de retenue à Decize, à Tharsis, à

Digitized by Google

Schemnitz. Dans ce dernier district, les retenues d'eau représentent environ huit millions de mètres cubes. Mais nulle part on ne rencontre un ensemble plus imposant, à cet égard, que dans le massif métallifère du Hartz. La surface topographique de la contrée a été étudiée attentivement à ce point de vue, afin de réunir, dans les déclivités les plus favorables, les plus grands volumes d'eau avec le minimum de conduits collecteurs. On n'y compte pas moins de 67 réservoirs principaux, et un total d'environ 212 kilomètres de canaux, qui se répartissent de la manière suivante :

Canaux collecteurs.	112 722 mètres
Canaux distributeurs.	73 860 —
Fossés	5 996 —
Communications souterraines . . .	19 914 —
	212 492 mètres

résultat dont il convient de rapprocher en même temps les 77 356 mètres de galeries d'écoulement proprement dites (chap. XXXVII, § 4), qui servent à évacuer, hors des mines de ce district, les eaux souterraines.

749 — *Moteurs.* — Pour l'utilisation de la force hydraulique, on ne connaissait aux époques reculées que la *roue en dessus*. On lui donne un *double aubage*, lorsqu'elle est destinée à l'extraction, qui exige des changements de marche. La roue présente alors deux couronnes d'augets, dont les uns sont tournés vers le haut et les autres vers le bas dans le même demi-cercle. Si l'on vient à fournir l'eau sur l'une ou l'autre de ces deux séries, comme les demi-circonférences capables de la contenir se trouvent de côtés différents de l'axe, on détermine par là successivement deux rotations opposées.

Le diamètre de ces roues reste forcément limité. Même avec toutes les ressources actuelles de la construction, l'on ne saurait dépasser 15 à 18 mètres [1], et l'on se tient ordinairement bien en deçà

[1] Je laisse de côté les proportions inouïes de la roue élévatoire construite pour

Digitized by Google

de ce chiffre. Ces moteurs ne peuvent donc utiliser des chutes importantes, qu'à la condition de fractionner la hauteur en série. Chaque roue figure alors dans un étage particulier, et le canal de fuite de chacune d'elles sert à donner les eaux sur la tête de la suivante (1).

La *machine à colonne d'eau* est particulièrement bien adaptée aux conditions des mines, car elle est très propre à dépenser, sur les plus grandes hauteurs, des volumes d'eau modérés (2). Elle est, en même temps, allongée suivant la verticale, ce qui est une condition favorable pour la solidité des excavations. On l'installe d'ordinaire à une profondeur importante au-dessous du niveau de la galerie d'écoulement. Il est inutile de dire que ce ne saurait être dans le but d'augmenter d'autant la chute motrice, puisque l'on accroît par là d'une quantité égale la contre-pression, et que cette complication ne saurait, au contraire, qu'ajouter à l'importance des résistances passives. Mais on trouve dans cette combinaison l'avantage d'opposer, par l'élévation de l'eau jusqu'au bief de fuite, une résistance artificielle à la descente des énormes poids que la machine a élevés dans sa course directe, et d'empêcher qu'ils ne produisent une accélération trop marquée (3).

La *turbine* est le moteur hydraulique qui s'accommode le mieux aux circonstances les plus diverses. Elle se prête à l'utilisation de très grandes hauteurs (4), et peut dépenser indifféremment, sui-

l'ascension des visiteurs de l'Exposition de Chicago. Son diamètre était de 80 mètres et son poids de 2500 tonnes environ (Larousse, *Revue encyclopédique*, 1er novembre 1893, 1082).

(1) Le principe du fractionnement de la chute a été employé, en dehors des mines, par M. Duponchel, ingénieur en chef des ponts et chaussées. Il a, dans son projet de distribution d'eau pour la ville de Béziers, directement superposé deux roues égales. Le manteau de la roue supérieure donne directement l'eau sur celle qui lui est subordonnée. Comme elles doivent être, par suite, animées de vitesses égales et contraires, il a suffi de les relier par les pompes elles-mêmes, qu'elles sont destinées à actionner, au moyen de deux bielles, dont l'une pousse pendant que l'autre agit par traction (*Annales des Ponts et Chaussées*. 6e série, 1883, 247. — Haton de la Goupillière, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, X).

(2) Jusqu'à 368 mètres, au puits Marie (Clausthal, Hartz). (Hoppe, *Rev. univ. d. m.*, 2e, XI, 233).

(3) La machine du puits Marie a été mise à 225 mètres en contre-bas du bief de fuite, ce qui la soumet à une pression de 595 mètres d'eau, ou environ 60 atmosphères.

(4) 180 mètres à Airolo, pour le percement du Saint-Gothard.

Digitized by Google

vant les dimensions qu'on lui donne, de notables ou de faibles quantités d'eau. L'extrême rapidité qu'admet au besoin son allure permet en outre, à égalité de débit, de réduire son volume, au grand avantage de la solidité des excavations souterraines (1).

On a encore employé les *balances d'eau*, soit verticales, soit inclinées (2). Ce dernier dispositif s'accommode très directement aux conditions d'une traction mécanique. A chacune des extrémités du câble est attelé un wagon à eau. On le remplit au sommet du plan; il descend alors la pente, en remorquant sur la rampe latérale le train chargé. Lorsqu'il arrive au pied de l'ouvrage, il rencontre des tampons d'arrêt. Leur pression ouvre ses clapets, et le liquide s'écoule tandis que l'on remplit, au sommet du plan, le second wagon à eau, qui vient d'être remonté à vide.

On peut encore mentionner quelques *machines rotatives*, employées pour les applications qui n'exigent qu'une faible force. Nous avons déjà rencontré, à cet égard, l'exemple de la perforation mécanique (N° 230).

750 — *Force du vent.* — Je mentionnerai, pour mémoire seulement, la force du vent, qui est employée sous forme de moulins à vent ou de panémones sur les chefs de quelques excavations à ciel ouvert, pour épuiser les eaux du fond. Ce système se rencontre en particulier en Suède, dans certains filons verticaux de minerai de fer que l'on dépèce à découvert (3).

(1) Tyrode, Installation d'une turbine pour exploitation d'une descenderie. *CRM*, 1886, 30.

(2) Balance d'eau pour l'extraction de la houille au pays de Galles, *Génie civil*, XXVII, 3. — Balance d'eau des ascenseurs de Notre-Dame-de-la-Garde à Marseille, *Lumière électrique*, LIII, 23.

(3) On trouve dans le *Dictionnaire des sciences naturelles* de Valmont de Bomare (Lyon, 1776, article *Exhalaisons*), au milieu de fables absurdes qui étaient accréditées, il y a un siècle, l'indication de moulins à vent installés en Suède dans des galeries de mine, pour manœuvrer des pompes. Il est plus que probable qu'il n'y a là qu'une erreur de plus. Cependant, il ne serait pas absolument impossible que dans certaines mines, présentant un puissant aérage naturel dû à de grandes différences de niveau, combinées avec une orientation favorable des orifices, on ait pu en dériver une partie dans un conduit spécial, pour actionner un panémone, destiné à l'épuisement de quelque ouvrage en vallée de peu d'importance.

Nous verrons également (chap. XLV) que le vent était autrefois utilisé pour l'aérage

Digitized by Google

§ 3

MOTEURS A VAPEUR

751 — L'emploi de la vapeur a renouvelé la face de l'exploitation des mines. On l'emploie sous trois formes différentes : 1° dans les *locomotives*, pour la traction souterraine (N° 654); 2° dans quelques *locomobiles* ou *machines mi-fixes*, faciles à transporter d'un point sur un autre de l'intérieur, pour y remplir des fonctions temporaires; 3° dans les *machines fixes* proprement dites.

Il est inutile d'avertir que ce dernier type efface absolument les deux autres, quant au nombre et à l'importance des applications. Il s'en sépare en ce qu'il nécessite des générateurs distincts de l'appareil moteur, et installés à part. Ces chaudières prennent souvent de très grandes dimensions, en raison de la puissance considérable qu'on leur demande, et en outre parce que les mines de combustible s'attachent à brûler, pour leurs propres besoins, toutes les sortes inférieures que le commerce accepterait difficilement, et qui ne sauraient supporter de frais de transport. L'étendue des grilles se ressent nécessairement de ce choix. L'emploi du vent forcé peut rendre des services à cet égard. Lorsque les dimensions deviennent trop considérables, on subdivise la production de force motrice entre plusieurs générateurs, que l'on réunit en batterie.

Le mode d'installation de ces derniers permet de classer, à leur tour, les machines fixes en trois catégories, suivant que l'on établit : 1° la machine et le générateur au fond; 2° le moteur au fond avec les chaudières au jour; 3° la machine et les foyers au jour [1].

752 — La première combinaison est la moins employée. Elle présente, en effet, les plus graves inconvénients. En premier lieu,

souterrain. Ce moyen, qui doit être aujourd'hui rejeté comme complètement insuffisant, jouait encore un certain rôle à une époque très rapprochée de nous.

[1] Sur 2336 machines à vapeur employées en France dans les mines de toute nature, 11 seulement sont installées au fond (*Statistique minérale pour* 1892).

Digitized by Google

il faut la considérer comme rigoureusement incompatible avec la présence du grisou. Dans tous les cas, s'il y avait lieu de concevoir la moindre crainte à cet égard, on devrait pratiquer pour l'alimentation des foyers un conduit spécial, amenant directement l'air frais du dehors, au lieu de les alimenter aux dépens du courant qui a déjà traversé les tailles.

Jamais les chaudières ne seront installées en plein charbon. Il faut leur préparer des emplacements dans le rocher. Le contact de tout boisage est également exclu, et la maçonnerie reste seule admissible. Il est même bon de construire un double muraillement, avec une gaine d'air circulant entre les deux massifs, afin d'intercepter toute conductibilité.

Il est nécessaire d'établir une sortie directe pour la fumée et l'échappement de vapeur. On peut affecter à cet usage quelque puits hors de service, ou disposer dans un puits en activité des tuyaux d'un diamètre suffisant. L'emplacement le plus favorable, à cet égard, sera le puits de sortie du courant d'air, afin que l'échauffement déterminé par cette colonne y vienne en aide au tirage.

753 — Avec le second système, on supprime toutes ces difficultés, en établissant les chaudières aux abords du puits. On y trouve comme compensation l'obligation onéreuse de les relier au moteur placé dans les travaux, au moyen d'une conduite de vapeur. Il est nécessaire d'envelopper et de feutrer cette dernière le mieux possible, afin d'éviter la condensation due au refroidissement (1). On doit éviter, autant qu'on le pourra, de placer cette colonne dans le puits des pompes, à cause de la pluie et de l'humidité. Une sortie de vapeur reste encore nécessaire comme pour le cas précédent. Remarquons toutefois que, la fumée ayant disparu, cette obligation n'existe plus avec les machines à condensation, telles que

(1) D'après les expériences de M. Walther-Meunier, la quantité de vapeur condensée par heure et par mètre carré de *métal nu* est de :

Cuivre	$2^{kg},816$
Fonte	$3^{kg},484$
Fer	$3^{kg},906$

(Haton de la Goupillière, *Revue des questions scientifiques*, II, 1028.)

Digitized by Google

la pompe Tangye, le pulsomètre, etc., dont il sera question plus tard [1].

754 — Enfin, dans la troisième combinaison, qui est de beaucoup la plus fréquente, l'on écarte à la fois les complications qui naissent de l'emplacement souterrain du générateur et de la machine, en les installant tous les deux à la surface. La plupart du temps, l'opérateur se trouve lui-même au jour. Lorsqu'il doit être placé au fond, il reste à lui faire parvenir la force motrice engendrée à l'extérieur. C'est l'objet des *transmissions de force*, dont nous parlerons dans le paragraphe suivant.

Mentionnons, pour terminer celui-ci, quelques résultats numériques, destinés à donner une idée du secours qu'apporte à l'exploitation des mines la force de la vapeur. Ils indiquent, en ce qui concerne l'année 1892, ceux des départements dans lesquels cette application a dépassé deux mille chevaux, ainsi que des chiffres d'ensemble pour la totalité de la France [2].

DÉPARTEMENTS	FORCE MOTRICE — Chevaux	NOMBRE DE MACHINES	COMBUSTIBLE CONSOMMÉ — Tonnes
Pas-de-Calais	39 029	617	488 000
Loire	23 560	213	220 878
Nord	19 084	388	256 315
Saône-et-Loire	13 364	269	173 270
Gard	8 679	203	126 749
Ille-et-Vilaine	3 315	16	7 548
Bouches-du-Rhône	3 314	64	46 427
Allier	2 572	45	71 335
Aveyron	2 336	101	64 231
Tarn	2 147	31	32 080
TOTAUX POUR LA FRANCE	129 307	2 356	1 697 350

(1) Baure, Machines à vapeur souterraines de Bezenet, *Bull. min.*, 2e, XIV, 297. — Merivale, Transmission à distance par la vapeur, *Mémoires des ingénieurs civils*, janvier 1885, 157. — Crétien (*Transport de la vapeur à de grandes distances*, grand in-8° Baudry. — *CRM*, 1885, 219).

(2) *Statistique de l'industrie minérale* pour 1892, p. 73

Digitized by Google

§ 4

TRANSMISSIONS

755 — *Barres de renvoi.* — Les moyens qui ont été employés dans les mines, pour transmettre à distance le travail mécanique d'un moteur jusqu'à un opérateur, se rapportent aux cinq catégories suivantes : 1° les barres de renvoi; 2° les câbles; 3° l'eau sous pression ; 4° l'air comprimé ; 5° l'électricité.

Les *barres de renvoi* sont, sur les grandes longueurs, l'équivalent de la bielle d'une machine ordinaire. Il y a lieu, en ce qui concerne leur emploi, de distinguer le sens horizontal et le sens vertical.

La première de ces deux applications a aujourd'hui à peu près disparu (N° 114). On formait ces renvois de longrines de bois, assemblées bout à bout. Elles étaient supportées par des pièces oscillantes, et animées dès lors d'un mouvement alternatif de translation circulaire [1]. Avec une telle disproportion entre la longueur et l'équarrissage, il devient impossible d'agir en refoulant. Pour ce motif, le système était double, et deux semblables longrines se trouvaient réunies l'une à l'autre par des liens, articulés en leurs milieux. On exerçait alternativement des tractions sur chacune de ces barres, pour éviter d'avoir à fouler avec l'autre.

Dans le sens vertical, ces organes prennent le nom de *maîtresse-tige*. On en fait encore un grand usage, et nous les décrirons en détail à l'occasion des pompes de mines (chap. XXXVIII). La connexion des anciennes barres horizontales avec cette maîtresse-tige s'effectuait au bord du puits au moyen d'un énorme *varlet*, ou levier coudé, analogue pour sa forme aux renvois de sonnette.

756 — *Câbles.* — Le câble se substitue très avantageusemen aux pièces rigides, en raison de sa souplesse. Il constitue l'organe

[1] Haton de la Goupillière, *Traité des mécanismes*, 184.

Digitized by Google

essentiel de l'extraction verticale, des tractions mécaniques et des plans automoteurs. Son étude détaillée formera l'objet du chapitre XXXI.

Des *câbles de renvoi* proprement dits ont été parfois installés entre un moteur placé au jour et le fonctionnement d'un service souterrain. On peut citer, comme exemples, le système corde-queue d'Aniche, de 550 mètres de développement horizontal, relié par un câble, sur une hauteur verticale de 300 mètres, à la machine à vapeur qui avait été placée à la surface (1); ainsi que la chaîne sans fin suspendue dans le puits de Gannow Colliery (Burnley, Lancashire) (2).

Les *câbles télodynamiques*, dus à M. A. Hirn, remplaceraient aujourd'hui les barres de renvoi pour les transmissions de force que l'on pourrait avoir à installer sur le carreau d'une mine, mais ils ne seraient pas pratiques à l'intérieur (3).

Ces câbles métalliques sont l'équivalent des courroies sans fin usitées dans les machines. Seulement, la distance devient relativement énorme, ce qui rend nécessaire d'alléger le câble, en lui donnant un faible diamètre : 15 à 20 millimètres en général. On ne peut, dans ces conditions, lui demander qu'une tension limitée; et, par conséquent, ce n'est qu'au prix d'une très grande vitesse, telle que 20 mètres par seconde, que l'on pourra transmettre une force en chevaux d'une certaine importance. Les points d'appui devant, pour éviter le glissement, être animés d'une vitesse égale, ne pourront être pris qu'à la jante de poulies d'un très grand diamètre. On les établit sur des piliers élevés, afin qu'en faisant chaînette entre ces supports, écartés ordinairement de 100 à 125 mètres, le câble n'arrive pas à traîner à terre. On a pu s'étendre ainsi jusqu'à 2 kilomètres de distance. On a obtenu, à Schaffhouse,

(1) Georges Vuillemin (*Bull. min.*, 2e, IV, 429). Une communication analogue a été établie au Martinet près Charleroi (Supplément *du Traité de Ponson*, II, 35).

(2) *Transport mécanique de la houille*, traduction de Briart et Weiler, p. 90.

(3) Léauté et Bérard, *Transmissions par câbles métalliques*, aide-mémoire Léauté, avec une bibliographie très complète. — Tresca, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, X, 314. — Transmission télodynamique au puits d'Orléans à la Combelle (*CRM*, 1884, 55. — *Annales industrielles*, 1884, I, 622). — Transmission télodynamique à la pompe souterraine de Montchanin (*Ibidem*, 1884, I, 620. — *CRM*, 1884, 53). — Leloutre, Transport par courroies, cordes ou câbles métalliques, 1884, chez Tignol.

Digitized by Google

la transmission, à 600 mètres, d'une puissance de 750 chevaux. Le rendement de ce système est très favorable : on ne perd, à 300 mètres, que 2 pour 100, et moins de 10 pour 100 à 2 kilomètres.

757 — *Eau sous pression.* — L'emploi de l'eau comme agent de transmission est fondé sur son incompressibilité presque absolue. Tandis qu'un câble constitue, au point de vue abstrait, une ligne de longueur invariable et de forme indéterminée, incapable de pousser, mais apte à tirer; une conduite cylindrique pleine d'eau fournit de même une ligne de longueur invariable et susceptible de se plier aux formes les plus compliquées; seulement elle est, à l'inverse du cas précédent, incapable de tirer, et apte seulement à pousser. Cette combinaison fournit un engin très souple, permettant de transmettre à plusieurs kilomètres des efforts de plusieurs milliers de tonnes, au moyen de tensions qui atteignent une vingtaine d'atmosphères, et parfois davantage. On réalise, dans de telles conditions, pour des opérations multiples et compliquées, un rendement de 20 pour 100 environ. La simple manœuvre d'un robinet suffit à produire la mise en train, aussi bien que l'arrêt de l'appareil. En augmentant suffisamment la pression de l'eau, on peut obtenir qu'elle remonte jusqu'au jour, après avoir effectué dans le fond le travail qui lui est demandé [1].

M. Angély dispose à la surface [2] la première partie d'un accumulateur, c'est-à-dire un moteur à vapeur et une batterie de presses hydrauliques, permettant d'injecter de l'eau dans une capacité qui se trouve soumise à une tension très élevée. Ce volume n'est autre qu'une conduite présentant la longueur nécessaire pour aboutir, dans l'intérieur de la mine, au point voulu, sur lequel on dispose la seconde moitié de l'accumulateur, à savoir un cylindre vertical, à l'intérieur duquel peut se mouvoir un piston chargé de poids.

En injectant une quantité d'eau égale à l'étendue de ce cylindre, on remonte le poids jusqu'à son sommet. Il faut pour cela

[1] Tresca, *Bull. Soc. d'enc.*, 3e, X, 317. — Mortier, *CRM*, 1895, 327.

[2] Hirsch, *Rapports du jury de l'Exposition de* 1878, Groupe VI, classe 54, page 376. — Note sur la machine d'épuisement Kaselowky à transmission hydraulique *CRM*, 1895, 325.

Digitized by Google

dépenser (sauf l'influence des résistances passives) un travail marqué par le produit de ce poids et de la hauteur du corps de pompe. A ce moment, on interrompt la communication entre le moteur extérieur et le cylindre, et l'on met ce dernier en rapport avec une petite machine rotative, ou à colonne d'eau, en y dépensant l'eau renfermée dans l'accumulateur. Le poids redescend alors, en fournissant un travail égal à celui que le moteur avait dû dépenser pour son ascension.

758 — L'incompressibilité de l'eau permet encore de transmettre très simplement le mouvement alternatif d'un piston [1].

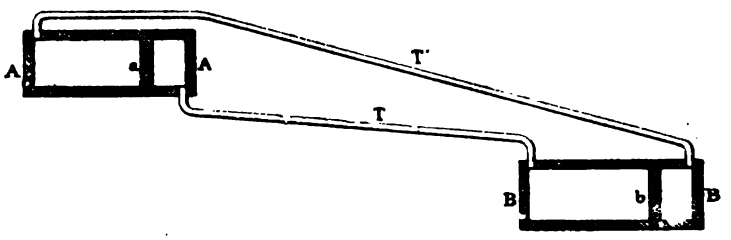


Fig. 498.

Concevons, à cet effet, deux cylindres égaux A et B (fig. 498) dont les extrémités opposées sont mises en relation par les tuyaux T et T'. Le premier de ces corps de pompe est installé dans le voisinage du moteur, qui en actionne directement le piston *a*. Le second se trouve près du mécanisme qu'il s'agit de commander par l'intermédiaire du piston *b*. Tout le système est plein d'eau.

Si l'on suppose que *a* se déplace, vers la droite, d'une certaine

[1] On trouve, dans l'intérieur des mines, de semblables installations à Veyras (Ardèche), à la mine Phœnix (Cornwall), à Ikouno (Japon), à Kladno (*Rev. univ. d. m.*, 1868), à Sulzbach-Altenbach (*CRM*, décembre 1876, 1. — *Zeitschrift* BHS, XXII, 179 ; XXIII, 60). On peut encore rapporter à ce même ordre d'idées la *pompe-sans-limite* Prudhomme, qui présente une application très ingénieuse d'un système analogue, et dont il sera question dans le chapitre XL (*CRM*, janvier 1877, 29). — Stapfer, Les transmetteurs hydrauliques (*CRM*, 1889, 160. — *Moniteur industriel*, 1890, 364). — Poillon, Sur les pompes à transmission hydraulique de Veyras, *Traité théorique et pratique des pompes*, 213. — Distribution de la force hydraulique à Londres, *Portefeuille économique des machines*, juillet-août 1889. — Achard, Une distribution municipale de force motrice, *Revue d'économie politique*, 1890.

Digitized by Google

longueur, il refoule dans le tuyau T une quantité d'eau égale au *volume engendré* par son mouvement dans le corps de pompe A. Le tube T dégorgera donc un volume égal dans le cylindre B, et pour cela, le piston *b* devra s'y mouvoir de la même longueur que *a*, et dans le même sens. En raison de ce déplacement, *b* refoule, sur sa face opposée, un égal volume d'eau dans la conduite T'. Celle-ci restituera par conséquent la même quantité de liquide au cylindre A, laquelle viendra occuper, en arrière de *a*, l'espace engendré par lui. On voit ainsi que les mouvements de ces deux organes seront nécessairement synchrones, et formeront l'exacte reproduction l'un de l'autre. L'opérateur se trouve en conséquence influencé par *b*, à l'autre extrémité de la transmission, comme il le serait par *a* au contact même du moteur.

A cet ensemble on devra joindre d'une part des soupapes de sûreté, pour le cas où une perturbation quelconque, tendant à refouler plus de liquide que les capacités n'en peuvent contenir, ferait monter démesurément la pression. Il faut en outre, à un point de vue inverse, un appareil foulant, permettant d'injecter dans l'intérieur les quantités d'eau nécessaires pour réparer les fuites.

759 — Si maintenant nous rapprochons les uns des autres les trois modes d'emploi de l'eau qui viennent d'être indiqués successivement, nous trouvons dans celui du N° 747 l'injection à l'intérieur de la mine, d'une quantité de liquide absolument déterminée, car elle est le quotient du travail à produire par la hauteur de chute. Elle peut par conséquent devenir considérable, et augmenter de la manière la plus fâcheuse, en l'absence de galerie d'écoulement, le volume des pompes d'épuisement, indépendamment des résistances passives mises en jeu par cette action motrice à deux degrés.

Dans le système de l'accumulateur (N° 757), nous rencontrons encore une injection d'eau, mais qui peut être limitée à volonté, si l'on a soin d'augmenter la surcharge du piston; car le travail de chaque cylindrée reste proportionnel à ce poids.

Enfin, avec le système des cylindres conjugués, le volume fluide reste fixe. Il agit, ainsi que nous l'avons dit, à la manière d'une

Digitized by Google

courroie, et l'on n'effectue plus théoriquement aucune introduction de liquide à l'intérieur des travaux.

760 — *Air comprimé.* — L'air étant un fluide aussi répandu que l'eau, en même temps que doué de propriétés très différentes, il était naturel que l'on cherchât à l'utiliser également comme agent de transmission mécanique [1]. Cet emploi peut se concevoir en principe d'après le double mode qui vient d'être indiqué pour celui de l'eau (Nos 757, 758).

Imaginons, en premier lieu, que l'on ait confiné une colonne d'air dans une conduite, fermée par deux pistons à ses extrémités. Si l'on agit sur l'un d'eux, le gaz interposé se comprimera, et le second piston ne pourra se retrouver en équilibre avec la pression atmosphérique, à laquelle il est soumis sur sa face libre, qu'en se déplaçant d'une quantité égale, pour que l'air reprenne son ancien volume. De là un moyen très simple de transmettre le mouvement. J'ajouterai que ce procédé est de la plus grande délicatesse et qu'il a donné à M. Marey des résultats remarquables, dans ses appareils de précision destinés à transmettre à un indicateur graphique des mouvements à peine sensibles, tels que celui du pouls.

Ce principe n'est pas non plus étranger à la pratique des mines, car on a employé ce moyen de communication pour la transmission des signaux de la recette inférieure au mécanicien chargé de la conduite de la machine d'extraction. Mais il est bien clair cependant que ce procédé, limité à des forces à peine perceptibles, ne saurait jouer aucun rôle efficace dans la question qui nous occupe en ce moment.

761 — C'est donc le second moyen que nous devrons mettre en œuvre, à savoir l'injection dans la mine, d'un certain volume d'air renfermant en puissance la quantité d'énergie qui lui aura été communiquée par un moteur extérieur, et dont il devient ainsi le véhicule.

[1] Mathet, L'air comprimé aux mines de Blanzy, 1888, in-8. — Mathet, *Bull. min.*, 3e, II, 65. — Durassier, *Génie civil*, XVII, 327. — *Engineering and mining Journal*, 9 mars 1895.

Digitized by Google

L'appareil dont on se sert à cet effet porte le nom de *compresseur*. Il se compose d'un moteur, d'une pompe de compression et d'un réservoir.

Le moteur sera ordinairement une machine à vapeur. Cependant, on a également utilisé la force hydraulique, qui est souvent surabondante dans les pays de montagnes où s'exécute le percement des grands tunnels, et où se rencontrent fréquemment les mines métalliques. Parfois même, on a employé directement la puissance de l'eau à la compression de l'air, au moyen de cloches ou de colonnes oscillantes, en évitant tout à la fois le moteur et la pompe.

Le compresseur proprement dit [1] était autrefois mené très lentement, afin d'éviter l'échauffement de l'air, inséparable d'une compression trop active. On tend aujourd'hui à augmenter la rapidité de l'allure, en vue de diminuer le volume de l'appareil, en donnant plus de coups de piston par minute. On prévient alors l'élévation de la température au moyen d'injections d'eau pulvérisée.

L'air comprimé se trouve par là chargé d'humidité. Pour ce motif, on lui laisse le temps de s'égoutter dans des réservoirs, qui sont quelquefois simplement d'anciennes chaudières hors de service. Il est toujours facile, en ouvrant de temps en temps un robinet purgeur, de chasser au dehors le liquide déposé.

762 — Il est d'autant plus nécessaire de dessécher l'air autant que possible, que l'un des écueils les plus directs de son emploi

[1] Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, I, 520. — Pernolet, *L'air comprimé et ses applications*, Paris, 1876. — Mallard, *Étude théorique sur la machine à air comprimé* (*Bull. min.*, 1re, XII, 615). — Hasslacher, *Annales*, 6e XVII, 527. — *Rev. univ. d. m.*, 1re, XXXI, 455, Chansselle; XXXIII, 413, Trasenster; 2e, III, 668, Mativa. — Colladon (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, LXXXII, 372). — Ribourt (*Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, 18 juin 1875). — Pochet, *Nouvelle Mécanique industrielle*, 230. — A. Évrard, *Traité d'exploitation*, I, 122. — Devillez, *Percement du tunnel sous les Alpes*. — The theory of closed air engines by Slaby (*Proceedings of the Institution of civil Engineers*, LVI). — *Verhandlungen des Vereines zur Beforderung des Gewerbfleisser*, 1877, 376. — Haton de la Goupillière, *Annales*, 7e, XVI, 194, 199. — Transmission de force par l'air comprimé à la North Star mining Ce (Californie). *Bull. Soc. d'enc.*, 5e, I, 141. — *Bull. min.*, 3e, VII, 85, Soulary; 395, de Boisset; 411, Lauras; 419, Burdy.

Digitized by Google

avec les machines à tiroir, consiste dans le refroidissement intense qui est occasionné par la détente [1]. Cet abaissement de température a pour résultat de congeler la vapeur d'eau, et d'empâter dans la glace les organes de distribution, en paralysant leur mouvement. On se voit dès lors obligé de les enfermer dans une enceinte traversée par un courant d'eau chaude. Si l'on trouve quelque difficulté à se la procurer au fond de la mine, on lui substitue l'extinction de la chaux. Le système Mékarski écarte cette difficulté par l'emploi de sa bouillotte caractéristique; mais il ne peut guère être utilisé dans les travaux souterrains. On a cependant appliqué aux mines de Blanzy un principe analogue en faisant barboter l'air, à proximité de l'appareil moteur, dans un corps de chaudière rempli d'eau chaude à 75 degrés; celle-ci provenait de la condensation de la vapeur d'échappement d'une pompe voisine. Dans ces mêmes exploitations, l'air comprimé traverse, près de l'orifice de chaque puits, un réservoir chauffé extérieurement par la vapeur d'échappement des machines.

En dehors de cet inconvénient, le rafraîchissement dû à la détente de l'air comprimé, exerce une salutaire influence sur l'atmosphère des mines. De plus, l'oxygène ainsi répandu dans les travaux vient en aide pour une certaine part à la ventilation. Ajoutons encore que l'on emploie quelquefois la pression de l'air, dans un percement de galerie à l'aide de la perforation mécanique ou dans tout autre chantier en cul-de-sac, pour donner une chasse près du front de taille, afin de l'aérer et d'en écarter les émanations grisouteuses au moment de faire sauter les coups de mine [2].

Cette circonstance crée à l'air comprimé une très grande supériorité sur l'injection d'eau motrice, dont il reste nécessaire de se débarrasser après qu'elle a rempli son office, et qui est gênante et salissante, tandis que l'air disparaît de lui-même en n'exerçant que des influences bienfaisantes. Ajoutons qu'à égalité de trans-

[1] Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, I, 540.

[2] Nous verrons cependant plus tard (chap. XLV, § 4), en étudiant les détails d'application de ce procédé, qu'il y a certaines réserves à apporter en ce qui concerne son efficacité.

Digitized by Google

mission d'énergie, la déperdition due au frottement de ce fluide contre les parois des conduites est beaucoup moindre qu'avec l'eau comprimée. A une distance de 6 kilomètres, la chute de pression dans les tuyaux est souvent inférieure à 10 pour 100 (1).

763 — Indépendamment de la perte sur le parcours, il faut toutefois tenir compte de celle qui est due au fonctionnement de la machine à tiroir, actionnée par l'air comprimé. Ces deux déficits viennent se superposer à celui qui se produit dans la machine motrice, employée à mettre l'air en tension.

Souvent, au lieu de réduire, comme nous l'avons fait ici, le rôle de l'air comprimé à celui d'un simple agent de transmission, il a paru préférable de l'inscrire au rang des moteurs. Quand on se place à ce point de vue, il ne faut pas oublier que ce n'est, dans tous les cas, qu'un *moteur de seconde main*. L'air atmosphérique ne recèle en lui-même aucune source d'énergie actuellement disponible, puisqu'on ne saurait le mettre en présence d'une enceinte maintenue à une moindre pression. On ne peut donc l'assimiler entièrement à l'eau, qui est capable de développer de la puissance en descendant à un niveau inférieur, tout comme le charbon en s'unissant avec l'oxygène. L'air est seulement apte à devenir un réservoir très commode pour l'énergie développée par un moteur distinct. Il en reste le dépositaire souple et bienfaisant au point de vue de l'exploitation souterraine, mais infidèle, puisqu'à la perte déjà consommée dans le moteur proprement dit, il en superposera nécessairement une seconde, pour le déploiement de la puissance dont il est le véhicule, et une troisième pour son propre transport (2). Il convient d'ailleurs d'ajouter qu'il partage ces défauts avec l'électricité, et même avec l'eau quand on la réduit au rôle d'un simple agent de transmission (N° 757).

Quoi qu'il en soit, l'air comprimé rachète ces inconvénients par

(1) Haton de la Goupillière, *Cours de machines*, I, 471. — Ledoux, Étude sur les pertes de charges de l'air comprimé et de la vapeur dans les tuyaux de conduite, *Annales*, 9e, II, 541. — Bessard, Note sur l'installation d'une conduite d'air comprimé, *CRM*, 1894, 12.

(2) Mortier, Note sur l'emploi de l'air comprimé, *CRM*, 1895, 137.

Digitized by Google

des avantages si importants en ce qui concerne l'intérieur des mines, que son application n'a cessé de s'y développer d'une manière constante, surtout pendant ces vingt dernières années. Si au point de vue du rendement il donne des résultats inférieurs à ceux de l'électricité, il a en revanche l'avantage de ne présenter aucun danger dans les exploitations grisouteuses. Aussi presque toutes les mines un peu importantes sont-elles aujourd'hui outillées en vue de la distribution de l'air comprimé dans leurs travaux. On l'y emploie pour l'abatage mécanique (N° 227), les locomotives souterraines (N° 655), les tractions mécaniques (1), l'extraction (2), la manœuvre de ventilateurs et de pompes (3); il peut aussi être utilisé pour le fonçage des puits par le procédé Triger (N° 359). Nous signalerons en particulier le développement des remarquables installations réalisées depuis longtemps à cet égard par la Compagnie de Blanzy. Aux mines de Lens, dès 1888, il existait 178 machines mues par l'air comprimé, et desservies par une canalisation de 40 kilomètres de développement.

En général, on ne dépasse pas des pressions de 4 ou 5 atmosphères. Cependant on a fonctionné avec des tensions de 8 ou 9 kilogrammes dans les grands percements, mais en prenant des précautions attentives pour prévenir la formation de la glace. Souvent on marche en pleine pression; mais on renonce ainsi, en vue de la simplicité, à l'économie que procure l'emploi de la détente, et l'expérience a montré que celle-ci peut bien souvent être utilement appliquée aux moteurs souterrains (4).

La canalisation est composée de tuyaux en fer étiré, ou plus rarement en fonte avec les grandes dimensions. Les diamètres intérieurs varient depuis 15 ou 18 centimètres pour les conduites maîtresses, jusqu'à 20 ou 25 millimètres dans les dernières ramifications. Les joints doivent être étanches, et d'une exécution peu compliquée, de manière à faciliter les réparations locales. On les

(1) Ryhope, Powel's Duffryn, Kladno.

(2) Bruay, Bully-Grenay, Lens, Chalonnes, Ronchamp, Saars-Longchamps, Govan, Scotlane, Bridge-pite.

(3) A Monceau, dans le pays de Galles, le bassin de Sarrebrück.

(4) A Lens, on emploie même des treuils à deux cylindres oscillants, du système *compound*.

Digitized by Google

constitue en général à l'aide de simples brides, séparées par des rondelles de caoutchouc, ou parfois de carton mouillé. Les assemblages à vis ont l'inconvénient de ne permettre le remplacement d'un tuyau qu'après la dépose de tous les suivants; on n'en fait usage que pour les plus petits éléments.

Le prix de revient varie beaucoup, d'après la valeur de la tension, la nature du moteur et le mode de fonctionnement. M. Pernolet donne comme une moyenne la formule suivante [1]. S'il s'agit de transmettre à 1 kilomètre une force effective de 1 cheval, il faut dépenser par heure 0 fr. 25 à 0 fr. 30, dont 0 fr. 05 à 0 fr. 10 pour l'intérêt et l'amortissement des frais de premier établissement, et, d'autre part, 0 fr. 15 à 0 fr. 20 pour les salaires, l'entretien, les fournitures et les consommations courantes.

764 — L'extraction atmosphérique, qui procède au moyen du vide (chap. XXXV), peut être rapprochée des précédentes applications, comme fournissant un procédé tout à fait analogue d'utilisation de la puissance développée à la surface par un moteur à vapeur.

765 — *Électricité.* — L'emploi de l'électricité comme agent de transmission [2], expérimenté pour la première fois aux houillères de Blanzy en 1880 [3], s'est développé dans un grand nombre de mines depuis quelques années. C'est maintenant, après l'air comprimé, le mode de transport de l'énergie le plus répandu à l'in-

(1) *L'Air comprimé*, p. 575.

(2) *Bull. min.*, 3e, III, 727, 1312, 1345; V, 485; VII, 487; VIII, 67. — *CRM*, 1889, 10; 1891, 102. — *Bull. Soc. d'enc.*, 4e, X, 546, 1327. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XIV, 51; XVII, 206. — *Lum. élect.*, XXVII, 285; XXX, 174; XXXVI, 110; XXXVIII, 498; XXXIX, 427; XL, 549; XLII, 17. — *Éclairage électrique*, II, 383. — *Revue industrielle*, 19 mars 1884. — *Génie civil*, XVIII, 227. — *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils*, septembre 1890, mai 1891 et décembre 1894. — *Rev. générale des sciences pures et appliquées*, 6e année, 8. — *Bull. technologiq. de la Société des anc. élèves des écoles d'arts et métiers*, août 1885. — *Écho des mines et de la métallurgie*, 1895, n° 31. — *L'Elettricità*, 1892, nos 41 et 42. — *Jahrbuch für das Berg Hütten und Salinen Wesen*, 1883, 30. — *Transact. americ. min.*, février 1888, septembre 1890, octobre 1891, août 1893. — *Colliery Guardian*, 23 février, 8 mars et 10 mai 1895. — *Engineering and mining journal*, 23 février et 20 juillet 1895. — *Revista minera*, 8 février 1895.

(3) *Bull. min.*, 3e, III, 729.

Digitized by Google

térieur des travaux souterrains, et grâce aux avantages qu'il présente au point de vue économique, il semble appelé à jouir d'une faveur de plus en plus marquée dans l'industrie minière, surtout lorsque des dispositifs spéciaux auront été reconnus efficaces pour le rendre inoffensif au sein des milieux grisouteux.

Nous ne nous occupons en ce moment que de la transmission de l'énergie par l'électricité; mais ses autres usages multiples dont il est question en différents points de ce Cours, tels que l'éclairage, le tirage des mines, les signaux ou sonneries, la préparation mécanique de certains minerais, viennent souvent s'adjoindre à une distribution de force. Nous rappellerons également l'emploi de cet agent par l'intermédiaire d'accumulateurs, qui a été essayé notamment pour les locomotives de mines (N° 655).

766 — Toute installation ayant pour but de transporter l'énergie sous forme d'électricité comprend une ou plusieurs dynamos génératrices du courant, des conducteurs pour l'amener aux lieux d'emploi, enfin des dynamos réceptrices qui l'utilisent en vue de produire un travail mécanique. Ces divers organes doivent être établis dans les mines d'après les conditions spéciales où ils ont à fonctionner.

Les *génératrices* sont actionnées soit par des moteurs à vapeur, soit par une force naturelle quelconque. On utilise les machines hydrauliques quand on dispose, dans la région, d'une chute ou d'un courant d'eau. Aux États-Unis, on emploie fréquemment pour cet usage les roues à augets Pelton, qui sont des appareils simples et d'un rendement élevé, et présentent l'avantage de pouvoir être attelées directement aux dynamos.

Les appareils producteurs du courant sont souvent placés sur la mine même, mais l'électricité permet également d'aller chercher la puissance à de grandes distances. La mine de Virginius (Colorado) par exemple [1], située à 3900 mètres d'altitude, ne pouvait autrefois recevoir de charbon que pendant l'été, au prix de 100 francs par tonne. Aujourd'hui la force qui lui est nécessaire

[1] *Engineering and mining journal*, 12 mars 1892.

Digitized by Google

provient de dynamos installées sur une rivière à une distance de 7 500 mètres, et il en est résulté une économie considérable.

On peut également créer des chutes d'eau artificielles, soit à l'aide de puits artésiens et de réservoirs plus ou moins élevés, soit plutôt en utilisant la profondeur des puits de mine. C'est ainsi que dans l'exploitation de Chollard (Nevada), qui dispose d'une galerie d'écoulement, six roues Pelton sont actionnées au fond d'un puits de 500 mètres par des eaux de la surface. Chacune d'elles agit sur une dynamo de 130 chevaux, et le courant est envoyé au jour pour la manœuvre de bocards et d'autres appareils.

La situation des génératrices est donc déterminée dans chaque cas suivant les circonstances locales. La distance à laquelle elles se trouvent de la mine est un élément dont il importe de tenir compte pour choisir la nature du courant; toutefois si les appareils à commander souterrainement sont soumis à de fréquents arrêts et ont à produire un travail très variable, on doit, pour qu'ils démarrent facilement et ne risquent pas de s'arrêter sous un supplément de charge, se limiter soit aux courants continus, soit aux courants alternatifs diphasés ou polyphasés.

Le voltage peut être élevé quand il s'agit de la surface, à cause des avantages que présente un haut potentiel au point de vue du rendement et des frais de premier établissement de la ligne. Mais il doit alors être réduit à l'aide de transformateurs pour l'intérieur de la mine, où les conducteurs ne sauraient être placés hors de portée des hommes et des animaux. Il convient que la force électromotrice du courant qui circule dans les galeries ne soit pas supérieure à 350 ou 400 volts, et que les câbles soient en outre bien isolés. Leur contact dans ces conditions ne peut présenter de danger. A la mine de Sainte-Foy-l'Argentière, on a exceptionnellement atteint 650 volts avec un courant continu. On doit également tenir compte de ce que, pour obtenir un bon rendement sans exagérer les dimensions des conducteurs, il importe de ne pas réduire inutilement le voltage.

767 — Les *conducteurs* électriques employés dans les travaux souterrains nécessitent un isolement beaucoup plus parfait

Digitized by Google

qu'à la surface. Il est nécessaire en effet qu'ils soient à l'abri de l'humidité et des eaux corrosives, ainsi que des chocs et des frottements, qu'ils ne donnent pas de déperditions par le sol, ni d'étincelles dans les milieux grisouteux; et qu'ils puissent enfin être touchés impunément par les ouvriers.

A Anzin, avec un courant de 15 ampères et 330 volts, on a fait usage de conducteurs composés de 7 fils de cuivre, présentant une section totale de 12 millimètres carrés, et recouverts de deux couches de caoutchouc, d'un ruban caoutchouté, d'une enveloppe de toile isolante, et enfin d'un enduit spécial; ils coûtaient 1 fr. 65 le mètre.

A Sainte-Foy-l'Argentière, où le courant de 600 à 650 volts atteint 30 ampères environ, les câbles, d'un diamètre extérieur de 28 millimètres, sont constitués par 19 fils de cuivre d'une section totale de 50 millimètres carrés, isolés par deux couches de caoutchouc, deux rubans isolants, deux enveloppes de plomb et deux couches d'enduits.

Aux endroits où ils sont particulièrement exposés à des frottements, les conducteurs peuvent être recouverts d'une armature extérieure en fils de fer galvanisés; mais on augmente par là beaucoup leur poids. On les a parfois protégés en certains points contre les chocs, ou les écoulements d'eau, en les entourant de tubes en fer de 30 à 50 millimètres.

Des câbles concentriques, associant l'un autour de l'autre les deux conducteurs positif et négatif, ont été installés notamment à la mine de Dumbreck [1], près de Kilsyth (Grande-Bretagne). Ils présentent l'inconvénient de se prêter difficilement aux réparations en cas d'écrasement.

768 — Le mode d'attache des conducteurs est variable. Dans les puits, ou dans les voies principales dont le toit est bon, ils sont fixés à des isolateurs en porcelaine. Si les galeries présentent un toit médiocre, ou si ces conducteurs doivent pouvoir être déplacés rapidement, on les accroche simplement à des tas-

[1] *CRM*, 1894, 124.

Digitized by Google

seaux en bois, présentant deux entailles superposées, et fixés par des tirefonds aux montants des cadres. Les réparations ultérieures des boisages sont ainsi rendues très faciles. De plus, pour éviter des ruptures causées par les mouvements du terrain ou par les éboulements, on donne aux câbles beaucoup de mou entre leurs supports, sur lesquels ils peuvent en outre glisser. On a même soin de disposer ces derniers de manière à les rendre capables de céder sous l'effort, par exemple en enfonçant leurs tirefonds dans des œillets un peu trop grands.

769 — Les dynamos *réceptrices* actionnant des appareils spéciaux aux mines ont fait l'objet de nombreuses recherches. Il en existe maintenant des types variés et pratiques pour les treuils d'extraction ou de plans inclinés, les pompes d'épuisement, les ventilateurs, les appareils fixes ou locomoteurs de traction mécanique, les perforatrices, les haveuses ; sans parler des appareils ou engins utilisables dans les ateliers de la surface.

A proximité de chaque réceptrice, se trouvent des instruments de mesure, un interrupteur, et un rhéostat adapté à l'appareil de mise en marche.

Les électromoteurs employés dans les travaux miniers doivent être protégés avec soin contre les poussières et l'humidité. On les entoure d'enveloppes métalliques, ainsi que tous les commutateurs, rhéostats, et autres organes ordinairement laissés à l'air libre.

770 — En dehors de la faculté qu'elle procure, grâce aux transmissions à grande distance, de choisir l'emplacement d'une mine indépendamment de la situation de la source d'énergie à utiliser, l'électricité présente de sérieux avantages quand on la compare aux autres modes de distribution de force, et notamment à l'air comprimé.

Au point de vue des dépenses de premier établissement, elle est en effet beaucoup moins coûteuse, par suite du bas prix de ses conducteurs comparativement aux conduites métalliques. Les câbles électriques sont en outre d'une pose rapide et facile ; ils offrent surtout des qualités exceptionnelles de souplesse, fort appréciées à l'inté-

Digitized by Google

rieur des travaux souterrains ; on ne saurait imaginer un intermédiaire plus commode à travers des voies étroites, sinueuses, compliquées de déviations sous des angles quelconques, aussi bien dans le plan horizontal que suivant la verticale. Les moteurs, comme les conducteurs, sont légers, peu encombrants et se déplacent avec une grande facilité.

Les avantages de l'électricité ne sont pas moindres si l'on considère les dépenses courantes d'exploitation. L'économie qu'elle entraîne résulte surtout de son rendement élevé. On évalue généralement ce dernier pour les transmissions de force à l'aide du rapport entre le travail mesuré au frein sur l'arbre de la réceptrice, et le travail mécanique reçu par la machine génératrice. Tandis qu'avec l'air comprimé ce coefficient économique s'abaisse jusqu'à 30 pour 100, et s'élève rarement au-dessus de 50, il varie de 50 à 75 dans les transmissions électriques. Les pertes sur la ligne ne doivent pas dépasser 10 pour 100 ; les autres proviennent des dynamos génératrice et réceptrice, et sont généralement un peu plus élevées avec les courants alternatifs qu'avec les courants continus. Cette supériorité de l'électricité au point de vue du rendement est d'autant plus sensible que la distance est plus considérable. On peut d'ailleurs toujours diminuer la perte sur la ligne par une réduction de l'intensité du courant et une augmentation correspondante de sa force électromotrice, sans même avoir recours à une majoration du diamètre des conducteurs.

L'entretien des canalisations est également moins onéreux avec des câbles électriques que pour des tuyaux métalliques. Les premiers sont en effet moins sujets à se détériorer par suite des mouvements du terrain et des boisages.

Nous signalerons enfin les facilités spéciales que procure l'électricité, pour augmenter la puissance d'une installation sans modifier la canalisation.

771 — A côté de ces nombreux avantages, les transmissions électriques d'énergie présentent malheureusement un inconvénient, qui en a retardé jusqu'à ce jour l'extension dans les mines de houille, même pour celles qui ne sont pas reconnues comme

Digitized by Google

grisouteuses, mais qui peuvent le devenir; c'est le danger d'inflammation du gaz par une étincelle. On doit toutefois reconnaître que diverses additions et modifications récemment apportées aux appareils ont déjà diminué dans une large mesure les risques d'allumage du grisou ([1]).

Une première précaution prise à cet égard consiste à placer les différents organes de la transmission à la base des galeries, sans cependant les installer trop près de la sole, afin de ne pas les exposer à des détériorations. Mais ce n'est là qu'un palliatif.

Des étincelles peuvent se manifester soit aux dynamos réceptrices, soit aux commutateurs, rhéostats, etc., soit en un point quelconque des conducteurs.

Les réceptrices en produisent surtout aux balais de leurs collecteurs, parfois aussi dans les induits en cas de dénudation ou de rupture d'un fil de l'armature. Pour parer à cette cause de danger, M. Atkinson a proposé de rendre aussi hermétiques que possible les boîtes métalliques enveloppant les dynamos, de manière que les gaz inflammables n'y pénètrent qu'après un séjour de plusieurs heures dans l'atmosphère dangereuse ([2]); il a conseillé en outre de maintenir constamment à l'intérieur un mélange inexplosif, par exemple à l'aide d'un écoulement lent d'acide carbonique que fournit un récipient spécial. Dans le même ordre d'idées, la maison Dulait de Charleroi a muni chaque réceptrice des mines de Mariemont d'un petit ventilateur, mû par la dynamo elle-même, pour introduire continuellement de l'air pur dans son enveloppe.

Mais la véritable solution, en ce qui concerne les étincelles des collecteurs, réside dans l'emploi des électromoteurs à champ magnétique tournant, où ces organes disparaissent.

Quant aux étincelles qui, même avec ces nouveaux appareils, peuvent se produire accidentellement dans l'armature, on doit

([1]) *Bull. min.*, 3e, III, 1373. — *Rev. univ. d. m.*, 3e, XVII, 206; XVIII, 53 et 205; XXIII, 273. — *Minutes of proceedings of the institution of civil Engineers*, CIV, 1891. — *Proceedings of South-Wales institute of Engineers*, juillet 1891. — *Electrotecknische Zeitschrift*, 25 novembre 1891.

([2]) *Rev. univ. d. min.*, 3e, XVII, 235.

Digitized by Google

surtout chercher à les supprimer par une isolation parfaite et une surveillance attentive des fils des bobines.

On protège les commutateurs et autres organes de commande au moyen de cuirasses analogues à celles qui ont été indiquées plus haut pour les dynamos, mais d'un volume aussi restreint que possible, afin de réduire les risques de propagation d'une explosion au dehors. On a cherché également à diminuer en ce qui concerne les contacts électriques de ces appareils, à l'aide de dispositifs particuliers, la tendance à la production d'étincelles.

Une solution satisfaisante semble difficile à trouver pour les prises de courant des locomotives à trolley.

772 — Les câbles électriques peuvent enflammer les mélanges grisouteux, soit lorsqu'ils sont brisés par des chutes de pierres ou de boisages, soit s'ils viennent à se dénuder par suite de frottements, ce qui provoque des étincelles d'un conducteur à l'autre ou par dérivation à la terre.

L'expérience prouve que l'on évite d'une manière presque certaine ces détériorations des câbles en les entourant de nombreuses enveloppes isolantes et d'armatures, et en les disposant, ainsi que nous l'avons déjà dit, avec beaucoup de lâche dans des attaches peu résistantes, sur lesquelles ils restent susceptibles de glisser. De cette façon ils atteignent aisément le sol en cas d'éboulement. On peut aussi, quand les galeries sont bien sèches, les placer sous le sol dans des caniveaux en planches, pleins de sciure de bois, de sable ou de mousse.

On a cherché également à les constituer de telle sorte que, en cas de rupture, il ne puisse s'y produire d'étincelle dangereuse. Tous les systèmes imaginés dans ce but consistent à former chaque câble de deux conducteurs concentriques isolés, entre lesquels le courant se divise inégalement; l'un des deux se brise le premier, ce qui, grâce à des dispositifs spéciaux, a pour résultat de couper le courant avant que la rupture soit complète.

Dans le système Atkinson [1], le conducteur auxiliaire constitue

[1] *Rev. univ. d. min.*, 3e, XVIII, 54.

Digitized by Google

l'âme du câble; il se compose de fils contournés en spirale, et s'allonge après la rupture du conducteur extérieur; mais comme il reçoit alors la totalité du courant, l'intensité de celui-ci devient assez forte pour brûler un fil fusible disposé sur son parcours; on provoque ainsi la chute d'un poids qui produit l'interruption.

Avec d'autres types, tels que ceux de Nolet [1], ainsi que de Felten et Guillaume, c'est au contraire le fil auxiliaire intérieur qui se brise le premier, et un jeu d'électro-aimants entraîne aussitôt la rupture du courant. On diminue ainsi l'importance de l'étincelle que peut produire la destruction d'une partie du conducteur.

Des dispositions sont prises en outre pour que celle-ci se produise à l'abri de l'atmosphère de la mine. Dans le câble Nolet, divisé en courtes sections assemblées l'une à l'autre, le sectionnement du conducteur auxiliaire s'effectue à l'intérieur des manchons de raccordement. Le câble Felten et Guillaume, plus simple que les précédents, est formé de deux cylindres concentriques d'acier et de cuivre; le fil intérieur en acier cède le premier sous la protection du conducteur en cuivre.

773 — Les transmissions de l'énergie par l'électricité se sont surtout développées jusqu'à présent dans les mines américaines. L'une des plus importantes est celle de la houillère de Pleasant Valley [2], à Castle Gate (Utah), où la totalité de la puissance mécanique de la mine est fournie par cet agent. Neuf dynamos génératrices de 80 chevaux chacune, actionnées par des moteurs à vapeur, font mouvoir des tractions mécaniques, des pompes, des ventilateurs, des perforatrices, des haveuses. A la mine d'argent de Comstock (Nevada) [3], six roues Pelton de 100 chevaux placées au bas du puits, sont attelées à des dynamos Brush, dont le courant commande les pilons d'une usine souterraine. Aux mines d'Aspen (Colorado) [4], on trouve huit dynamos mues également par des

[1] *Rev. univ. d. min.*, 3e, XXIII, 278.
[2] *CRM.*, 1891, 104. — *Rev. univ. d. min.*, 3e, XVII, 124.
[3] *Lum. électriq.*, XLIV, 7. — *CRM*, 1891, 104. — *Boletin de minas*, Lima, 31 mai 1890.
[4] *CRM.* 1891, 104. — *Lum. électriq.*, XLII, 18.

Digitized by Google

roues Pelton, dont chacune développe 150 chevaux; deux d'entre elles fournissent la force motrice nécessaire pour les appareils souterrains, les autres sont affectées à l'éclairage de la surface.

En France, bien qu'aucune installation ne présente encore une semblable importance, les transmissions électriques se sont déjà multipliées. On les a notamment utilisées pour exploiter par des descenderies ou des puits intérieurs, des quartiers qu'il eût été très coûteux d'atteindre au moyen de travers-bancs. Nous citerons sous ce rapport les installations du puits Saint-Antoine de la Compagnie de la Péronnière (Rive de Gier) (1), celle du puits Thibaut de la Société des Houillères de Saint-Étienne (2), celles de la mine de Saint-Chamond (3), de la fosse Léonard des exploitations d'Anzin (4), de la mine de Sainte-Foy-l'Argentière (5). Aux mines de Decize, une distribution électrique par courants diphasés à 2000 volts, ne s'étendant qu'à la surface, et d'un développement total de 8 kilomètres environ, actionne, en dehors de 30 lampes à arc et de 70 lampes à incandescence, 4 ventilateurs de 30 chevaux placés sur des puits ou fendues isolés, un treuil de plan incliné de 15 chevaux et une pompe de 12 chevaux (6).

(1) *Bull. min.*, 2e, XI, 5; XII, 19. — *CRM*, 1881, 230; 1883, 5.
(2) *Bull. min.*, 2e, X, 882. — *CRM*, 1882, 3.
(3) *Bull. min.*, 2e, XI, 89. — *CRM*, 1882, 34; 1883, 230.
(4) *Bull. de la Société internat. des électriciens*, VIII, 1891, 401. — *Bull. min.*, 3e III, 1364.
(5) *Bull. min.*, 3e, IX, 173.
(6) *Annales*, 9e, IV, 634. — *Bull. min.*, 3e, VII, 495.

32367. — Imprimerie générale Lahure, 9, rue de Fleurus, à Paris.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

3 2044 103 127 494

Digitized by Google